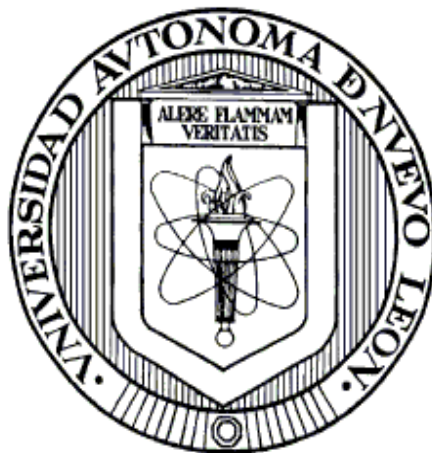


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS



ESTIMACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DE
PLANTAS TERMOELÉCTRICAS MEDIANTE EL
MODELO SCREEN

Por

EDUARDO YÁÑEZ ARREOLA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con orientación en
PROCESOS SUSTENTABLES

Diciembre, 2007

ESTIMACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DE
PLANTAS TERMOELÉCTRICAS MEDIANTE EL
MODELO SCREEN

Aprobación de la tesis:

Dra. Rosa del Carmen Miranda Guardiola
Directora de la Tesis

Revisor de la Tesis

Revisor de la Tesis

RESUMEN

Eduardo Yáñez Arreola

Fecha de Graduación: Diciembre, 2007

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ciencias Químicas

Título del Estudio:

ESTIMACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DE PLANTAS
TERMOELÉCTRICAS MEDIANTE EL MODELO SCREEN.

Número de páginas: 86

Candidato para el grado de Maestría en
Ciencias con orientación en Procesos
Sustentables

Área de Estudio: Ingeniería Ambiental

Propósito y Método del Estudio: Estudiar como se dispersan los contaminantes de una termoeléctrica de San Nicolás de los Garza en diferentes épocas del año, tomando en cuenta la meteorología presente. El resultado final será evaluar como esta dispersión de contaminantes influye en la salud humana en el número de casos relacionados con altos índices de contaminación. El método de estudio es emplear un modelo de calidad de aire para simular la dispersión junto con la generación de rosas de viento para medir la dirección del viento y, por lo tanto, la de los contaminantes. Después de esto, se predecirán daños a la salud en base a incidencias de enfermedades reportadas en el sector salud.

Contribuciones y Conclusiones: Las contribuciones de este trabajo son las de cómo explicar la dispersión de contaminantes en un área de estudio y su impacto en la salud humana. Las conclusiones que se obtienen son que la modelación de la calidad del aire debe de ser empleada como una fuente de información para mitigar los daños a la salud humana y al medio ambiente pero antes de que los daños se presenten.

FIRMA DEL ASESOR: _____

AGRADECIMIENTOS

A mis papás Ernesto y María del Socorro y a mis hermanos Ernesto y Nancy Alejandra porque siempre me han apoyado en todas las circunstancias.

A la Dra. Rosy Miranda que a lo largo de este año hemos estado trabajando con este tema.

A la MC Evangelina Ramírez la que me ha ayudado en mucho material para poder realizar el presente trabajo.

Al Dr. Jonathan Kahl de Milwaukee Wisconsin University por haberme animado a estudiar dispersión de contaminantes, ya que estaba indeciso en participar en este trabajo.

A la Ing. Tania López del Instituto Nacional de Ecología por proporcionarme información más detallada de su tema de investigación el cuál fue la base para elaborar este trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Barbarín por su apoyo que me brindó a lo largo de toda mi carrera.

DEDICATORIA

A mis padres y a mis hermanos porque su apoyo es el mejor regalo que he recibido.

A mi abuela Socorro, mis tías Yolanda, Rosa Linda y María Isabel y mi tío Eduardo Cantú por los cuidados que me dieron de niño.

A mis primos Evelyn y Eduardo Daniel que han estado conmigo en las buenas y en las malas.

En especial para ti mamá que a pesar de tu estado de salud sé que saldrás adelante.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
Introducción.....	1
1.1 Generación de Energía en México.....	1
1.2 Generación de energía en Nuevo León	3
1.3 Emisiones de contaminantes de centrales termoeléctricas	5
1.4 Efectos en la salud de contaminantes	8
1.5 Sistema Integral de Monitoreo Ambiental	9
1.6 Normas Oficiales Mexicanas.....	11
1.7 Importancia de este trabajo	13
1.8 Hipótesis y Objetivos	14
1.8.1. Hipótesis	14
1.8.2. Objetivo General	15
1.8.3. Objetivos Particulares	15
1.8.4. Metas	16
Materiales y métodos	18
1.1 Selección del dominio de simulación	18
1.2 Concentraciones de emisiones reportadas por SIMA	21
1.3 Condiciones Meteorológicas reportadas por SIMA.....	23
1.4 Factores de emisión de SO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}	25
1.5 Rosas de Viento.....	27
1.6 Generación de dispersión de contaminantes	28
1.7 Generación de impactos a la salud	29
Resultados	31
3.1 Selección del Período de Simulación	31
3.1.1 Rosas de Vientos	31
3.1.2 Análisis Cluster para períodos representativos	38
3.2 Factores de Emisión.....	41
3.3 Dispersión de contaminantes	43
3.3.1 Dióxido de azufre (SO ₂)	43
3.3.2 Partículas menores a 10 micras (PM ₁₀)	48
3.3.3 Partículas menores a 2.5 micras (PM _{2.5}).....	53
3.4 Impactos a la salud por las emisiones	59
Discusión.....	65
4.1 Dispersión de contaminantes	65
4.2 Impactos a la salud	67
4.3 Propuestas para disminuir impactos a la salud y medio ambiente	68
4.3.1 Material de Salud	68

4.3.2 Materia de Medio Ambiente	69
Conclusiones.....	70
Bibliografía	73
APÉNDICES	76
Apéndice A.....	77
USO DEL SIMULADOR AIRQ 2.2.3.....	77
Apéndice B.....	82
FACTORES DE EMISIÓN.....	82

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
1. Sector energético de Nuevo León.....	4
2. Normas oficiales mexicanas.....	12
3. Receptores de contaminantes.....	18
4. Períodos representativos del análisis custer.....	40
5. Factores de emisión.....	41
6. Emisiones de la termoeléctrica.....	42
7. Sectores más contaminados por la presencia de so_2	45
8. Sectores más contaminados por la presencia de pm_{10}	49
9. Sectores más contaminados por la presencia de $pm_{2.5}$	54
10. Municipios que presentará alguna afectación.....	58
11. Egresos hospitalarios por causa según el imss.....	60
12. Impacto a la salud por 100 000 habitantes.....	60
13. Coeficientes de dosis – respuestas usadas en el simulador.....	61
14. Resumen total de impactos a la salud.....	64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1 Capacidad y generación de energía en México	2
2 Generación de energía a partir de la fuente de energía.....	3
3 Estaciones de SIMA y la central termoeléctrica	11
4 Dominio de simulación	19
5 Dominio de simulación con escala de distancias	20
6 Máximos Semanales de PM ₁₀ y PM _{2.5} en el 2004	22
7 Máximos Semanales de SO ₂ en el 2004.....	22
8 Temperatura y humedad relativa semanales	23
9 Presión atmosférica y precipitación semanal	23
10 Velocidad del viento semanal.....	24
11 Rosa de Viento Enero 2004	32
12 Rosa de Viento Febrero 2004	33
13 Rosa de Viento Marzo 2004.....	33
14 Rosa de Viento Abril 2004.....	34
15 Rosa de Viento Mayo 2004	34
16 Rosa de Viento Junio 2004	35
17 Rosa de Viento Julio 2004	35
18 Rosa de Viento Agosto 2004.....	36
19 Rosa de Viento Septiembre 2004	36
20 Rosa de viento Noviembre 2004	37
21 Rosa de Viento Diciembre 2004.....	37
22 Dendograma : Clasificación de las variables semanales	39

23	Dispersión de SCREEN para el SO ₂	44
24	Dispersión del SO ₂ semana 3 (9 al 15 enero)	45
25	Dispersión del SO ₂ semana 20 (8 al 14 mayo)	46
26	Dispersión del SO ₂ Semana 38 (11 al 17 septiembre)	46
27	Dispersión del SO ₂ Semana 48 (20 al 26 noviembre)	47
28	Dispersión del SO ₂ Semana 50 (4 al 10 diciembre)	47
29	Dispersión de SCREEN para las PM ₁₀	49
30	Dispersión de PM ₁₀ semana 3 (9 al 15 enero)	50
31	Dispersión de PM ₁₀ Semana 20 (8 al 14 mayo)	51
32	Dispersión de PM ₁₀ Semana 38 (11 al 17 septiembre)	51
33	Dispersión de PM ₁₀ Semana 48 (20 al 26 noviembre)	52
34	Dispersión de PM ₁₀ Semana 50 (4 a 10 diciembre)	52
35	Dispersión de SCREEN para las PM _{2.5}	54
36	Dispersión de PM _{2.5} semana 3 (9 al 15 enero)	55
37	Dispersión de PM _{2.5} semana 20 (8 al 14 mayo)	55
38	Dispersión de PM _{2.5} semana 38 (11 al 17 septiembre)	56
39	Dispersión de PM _{2.5} semana 48 (20 al 26 noviembre)	56
40	Dispersión de PM _{2.5} semana 50 (4 al 10 diciembre)	57
41	Exceso de casos por PM ₁₀ en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	62
42	Exceso de casos por PM ₁₀ en mortalidad total	63
43	Exceso de casos por PM ₁₀ en mortalidad cardiovascular	63
44	Exceso de casos por PM ₁₀ en mortalidad respiratoria	64

NOMENCLATURA

AP-42 : Manual de factores de emisión

CFE : Comisión Federal de Electricidad

CO₂: Dióxido de Carbono

EPA : Environmental Protection Agency (Agencia de Protección al Ambiente)

Hr : Humedad Relativa

H₂O: Agua

IMSS: Instituto Mexicano del Seguro Social

INE: Instituto Nacional de Ecología

MW : Megawatts

NO : Monóxido de Nitrógeno

NO₂ : Dóxido de Nitrógeno

NO_x : Óxidos de Nitrógeno

NOM: Normas Oficiales Mexicanas

Pa : Presión Atmosférica

PIE : Productores Independientes de Energía

PM₁₀: Partículas Menores a 10 micras

PM_{2.5}: Partículas Menores a 2.5 micras

Pp : Precipitación Pluvial

SEMARNAP: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIMA: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental

SO₂: Dióxido de azufre

SO₃ : Trióxido de Azufre

Ta : Temperatura Ambiente

TWh : Terawatts hora

Vv : Velocidad del Viento

WHO: World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generación de Energía en México

La generación de energía eléctrica en México se realiza en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas y nucleares.

Al cierre del mes de septiembre de 2007, se reporta una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 49,860.69 megawatts (MW), de los cuales: 11,456.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas); 11,044.98 MW son de hidroeléctricas; 22,348.96 MW corresponden a las termoeléctricas federales; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 959.50 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a la nucleoelectrica, y 85.48 MW a la eoloeléctrica (CFE, 2007).

La generación de energía en México ha ido en aumento en los últimos años para cubrir las necesidades de la nación. En el año 2000 se comienza a reportar la generación de energía de productores independientes de energía (PIE) como se aprecia en la figura 1, donde se cita la capacidad instalada de energía y la generación neta de energía en México. También se incluye la generación de los PIE.

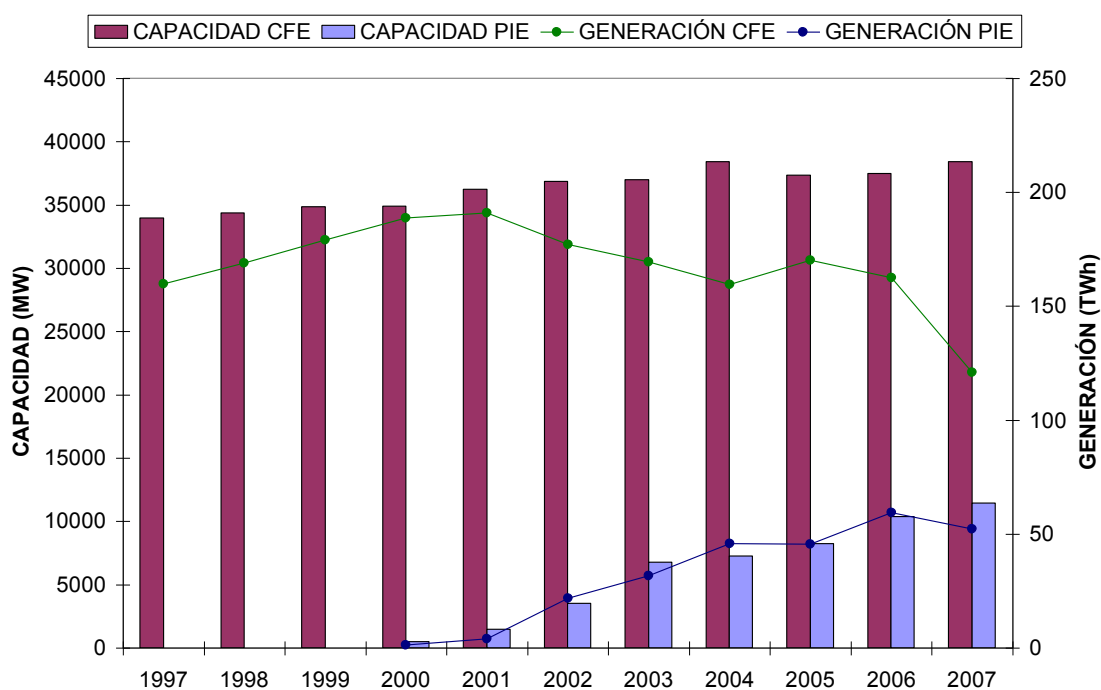


Figura 1. Capacidad y generación de energía en México

Fuente: CFE, 2007

La generación de energía eléctrica en México se produce por varias fuentes de energía como se puede ver en la figura 2, donde los hidrocarburos son los que más usados en termoeléctricas y el viento, usado para generar la energía eólica, es la forma de energía menos usada en México.

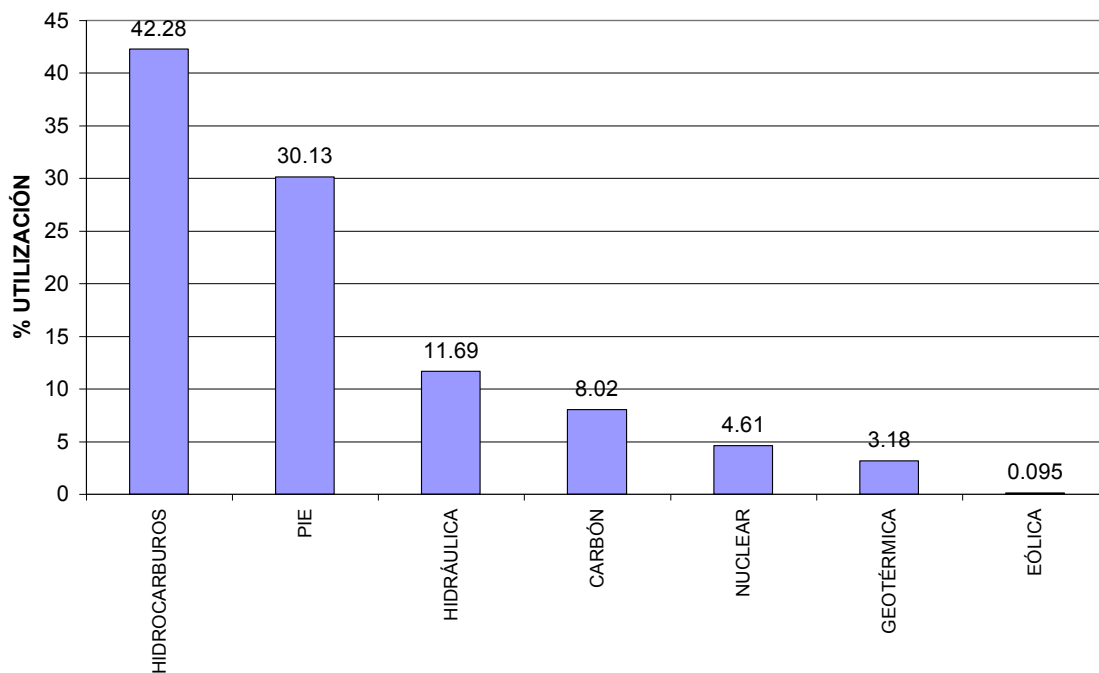


Figura 2 Generación de energía a partir de la fuente de energía

Fuente: CFE, 2007

1.2 Generación de energía en Nuevo León

La generación de energía en Nuevo León presenta varias tecnologías de producción y tipos de combustible para generarla, las cuáles se mencionan en la tabla 1. El gas natural es el energético que se emplea en mayor número de centrales termoeléctricas y el combustóleo es el energético empleado en la planta Monterrey, la cuál es la planta de estudio de este trabajo.

TABLA 1
SECTOR ENERGÉTICO DE NUEVO LEÓN

Plantas Generadoras de Electricidad en Nuevo León						
Tipo de Planta Generadora	Nombre	Fecha de inicio de operación	Unidades	Capacidad (MW)	Ubicación	Combustible
Termoeléctrica	Monterrey	15/07/1965	6	465	San Nicolás de los Garza	Combustóleo
	San Jerónimo	30/09/1960	2	75	Monterrey	Gas Natural
Turbogas	Universidad	31/10/1970	2	24	Monterrey	Gas Natural
	Leona	01/03/1972	2	24	Monterrey	Gas Natural
	Fundidora	05/04/1971	1	12	Monterrey	Gas Natural
	Tecnológico	01/02/1974	1	26	Monterrey	Diesel
Ciclo Combinado	Huinalá	10/07/1998	5	378	Pesquería	Gas Natural
	Huinalá II	17/09/2000	2	450	Pesquería	Gas Natural

Fuente: CFE, 2007

Como se puede ver en la tabla 1, las plantas de ciclo combinado de Huinalá son las más recientes y son operadas con tecnología reciente a comparación del resto de las plantas mayores a 30 años de operación. Esto indica que su tecnología no es reciente y no se adaptan a las actuales normas oficiales mexicanas en calidad del aire. El combustóleo es el energético que usa la termoeléctrica en estudio.

La termoeléctrica planta Monterrey produce la energía en base a mover turbinas, conectadas a generadores eléctricos, por medio de vapor.

El proceso de ciclo combinado (usado en Huinalá) es una combinación de las tecnologías de turbogás y vapor. Consta de una o más turbinas para turbogás y una de vapor y cada turbina acoplada a su respectivo generador eléctrico. El turbogás es la forma de generar energía por mover turbinas en base a gases de combustión.

1.3 Emisiones de contaminantes de centrales termoeléctricas

Todas las formas de generación de electricidad a gran escala afectan de alguna manera al ambiente. Así, la mayor parte de las emisiones de contaminantes atmosféricos del sector proceden de las centrales que utilizan carbón o petróleo como combustible; no obstante, las plantas que operan a base de gas natural emiten una gran cantidad de NO_x – precursor de ozono y partículas suspendidas finas ($\text{PM}_{2.5}$) y de dióxido de carbono (CO_2), gas de efecto invernadero.

Las grandes centrales hidroeléctricas pueden desplazar comunidades enteras, destruir o degradar hábitats críticos y dañar a las poblaciones nativas de peces y a otras especies silvestres. (INE, 2007)

Las plantas nucleares representan riesgos a la seguridad y a la salud en virtud de su operación, así como durante el transporte y el almacenamiento del combustible usado.

Incluso las instalaciones de energía eólica, dependiendo de su ubicación y de la tecnología empleada, pueden dar lugar a preocupaciones estéticas, o en relación con las aves silvestres. (INE, 2007).

El tipo y la cantidad de las emisiones contaminantes derivadas de la generación de energía eléctrica dependen del tipo de energético primario empleado y de la tecnología de conversión.

Las emisiones a la atmósfera provenientes de las plantas termoeléctricas que utilizan combustóleo y diesel, debido a que sus emisiones representan el 79% y el 35%, respectivamente, de las emisiones de SO_2 y NO_x del sector eléctrico nacional. (INE, 2007).

En México, de acuerdo con la Secretaría de Energía, el sector eléctrico aporta aproximadamente el 68% de las emisiones totales nacionales de SO_2 , el 20% de las emisiones de NO_x , y aproximadamente el 24% de las emisiones de partículas primarias (SENER, 2001).

El proceso de combustión en el proceso termoeléctrico es la oxidación rápida de combustibles por la aplicación de calor. Este proceso se lleva a cabo en calderas de gran capacidad. Los combustibles que se utilizan comúnmente en estos procesos son carbón, combustóleo y gas natural, aunque puede llegar a usarse también diesel, madera, gas licuado de petróleo (LP) o gases de proceso.

Cuando la combustión de hidrocarburos es completa se producen CO_2 y H_2O . Sin embargo, normalmente existe una porción de estos materiales que no es combustible o lo es sólo parcialmente y, por lo tanto, se generan sustancias como el monóxido de carbono

e hidrocarburos parcialmente oxidados. Adicionalmente, los combustibles pueden contener otras sustancias que al oxidarse producen contaminantes atmosféricos, como las partículas, los óxidos de azufre (SO_2 y SO_3), los NO_x , entre otras.

La generación de estas emisiones depende principalmente del tipo de combustible, caldera y quemador de que se trate, de la configuración de la caldera y de las condiciones de operación de la misma. Asimismo, la cantidad emitida varía a lo largo del año, dependiendo, entre otras cosas, de la intensidad de su uso. Cabe mencionar que algunos contaminantes se forman por la temperatura del proceso, y no solamente la quema incompleta del combustible. (Vijay, 2004).

En lo que respecta al combustóleo, las principales emisiones asociadas con su combustión son las de SO_2 , NO_x y partículas; cabe mencionar que este combustible es un producto residual de la refinación del petróleo, y su calidad depende de la calidad del petróleo crudo del que provenga.

En México, el 60% del petróleo crudo es un crudo pesado cuyo contenido de azufre es tres veces mayor que el contenido de azufre de otros crudos pesados. Por lo tanto, el combustóleo del país contiene entre el 2.6% y el 4% en peso de azufre, mientras que en el resto del mundo se encuentra entre 1.5 y 4%. (INE, 2007).

1.4 Efectos en la salud de contaminantes

Los óxidos de nitrógeno se producen con altas temperaturas de combustión. Cerca de la mitad de los NO_x provienen de fuentes fijas (el caso de las termoeléctricas) y la otra mitad de fuentes móviles (automóviles). (Moran, 1997)

El NO_2 es más nocivo que su precursor NO y en altos niveles de daño al corazón, pulmones e hígado. También provoca bronquitis y neumonía. La visibilidad es reducida por su presencia y provoca el smog fotoquímico.

El SO_2 es producido por la combustión de combustibles fósiles en un 65 % en los Estados Unidos (Moran, 1997). En la atmósfera es convertido a SO_3 y forma aerosoles que reducen la visibilidad. Al combinarse con el agua de precipitación forma la lluvia ácida. En la salud provoca asma, enfisema y bronquitis.

La emisión de partículas por la quema de combustibles pesados en la producción de energía eléctrica depende de qué tan completa sea la combustión y del contenido de ceniza en el combustible. En el caso del combustóleo, el contenido de azufre es determinante para la emisión de partículas; el alto contenido de azufre se relaciona con mayor viscosidad y contenido de cenizas, lo que dificulta la atomización del combustible, provocando una combustión incompleta. (Ahrens, 2001).

Varios contaminantes suelen estar presentes al mismo tiempo y los efectos observados se relacionan a la acción combinada de más de un contaminante. Así, niveles elevados de SO_2 se asocian con frecuencia con concentraciones altas de partículas. El hecho de que se observe un incremento de tres a cuatro veces mayor en la respuesta irritante a la exposición a SO_2 en presencia de partículas es probablemente atribuible a la habilidad de las partículas de aerosol de transportar SO_2 a la profundidad de los pulmones (SEMARNAP, 1997-2000).

1.5 Sistema Integral de Monitoreo Ambiental

Para el diseño de estrategias de control de la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), la Subsecretaría de Ecología inició en 1992 el proyecto SIMA (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental) que incluyó un proceso de planeación para la instalación de una red de monitoreo de la calidad del aire. El SIMA inició su operación a partir del 20 de noviembre de 1992 para contar con información de los niveles de contaminación ambiental en el AMM. La red de monitoreo de la calidad del aire cuenta con cinco estaciones fijas de monitoreo continuo (SIMA, 2007).

Las ubicaciones de las estaciones de SIMA son:

- Estación centro. Obispado
- Estación Noreste. Col. Unidad Laboral en San Nicolás de los Garza
- Estación Noroeste. Col. San Bernabé en Monterrey
- Estación Sureste. La Pastora en Guadalupe
- Estación Suroeste. Centro de Santa Catarina

La Estación noreste es en donde se recopilaban los datos meteorológicos y atmosféricos usados en este estudio y se encuentra ubicada en la colonia Unidad Laboral en San Nicolás de los Garza (figura 3).

Esta estación está localizada a favor del viento de un corredor industrial en un área altamente poblada. La estación noreste es utilizada para determinar los impactos de las fuentes fijas en la parte norte del Área Metropolitana de Monterrey. Su localización con respecto a la termoeléctrica es a dos kilómetros al noroeste en la Av. López Mateos y Antigua Carretera a Roma.

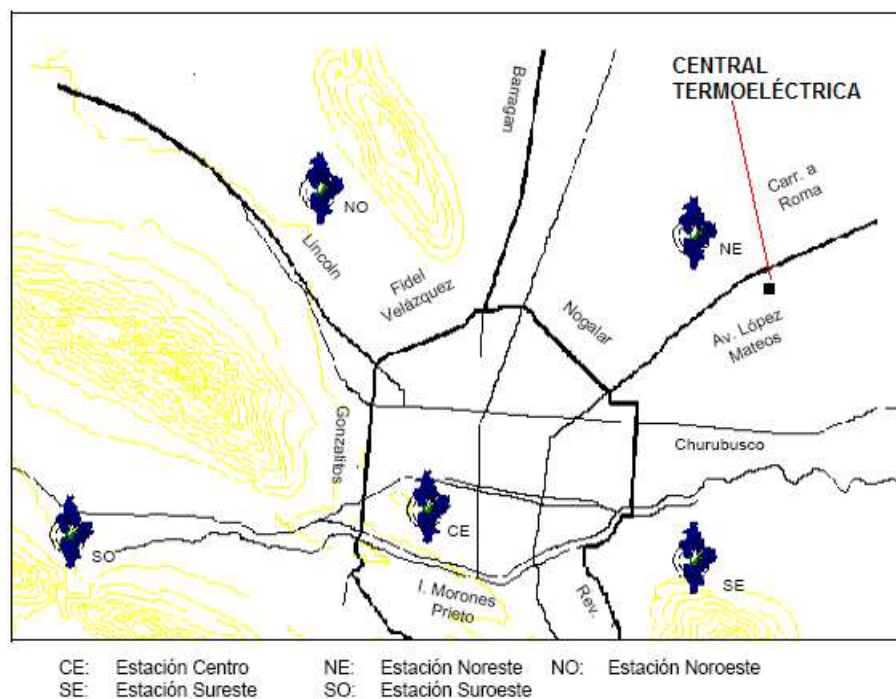


Figura 3. Estaciones de SIMA y la central termoeléctrica

1.6 Normas Oficiales Mexicanas

Las normas oficiales mexicanas (NOM) para el cumplir los estándares de emisiones de contaminantes se mencionan en la tabla 2. (NOM-021-SSA1-1993, 1993)

TABLA 2
NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Contaminante	Norma	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia mínima aceptable
Bióxido de azufre (SO ₂)	NOM-021-SSA1-1993	0.13 PPM (24 horas)	1 vez año
Partículas menores a 10 micras (PM ₁₀)	NOM-025-SSA1-1993	150 µg / m ³ (24 horas)	1 vez año
Partículas menores a 2.5 micras (PM _{2.5})	NOM-025-SSA1-1993	65 µg / m ³ (24 horas)	1 vez año

Fuente: INE, 2007

Como se puede ver en la tabla 2, las concentraciones en el tiempo promedio de medición son las que se van a comparar en la dispersión de contaminantes en la parte de resultados (NOM-025-SSA1-1993, 1993).

1.7 Importancia de este trabajo

La importancia de este trabajo radica en aplicar un modelo de dispersión de contaminantes para simular:

- Daños a la salud humana en los municipios circundantes a San Nicolás de los Garza.
- Daños a la flora y fauna
- Daños a infraestructura urbana de inmuebles.
- Daños a los cuerpos de agua potables y corrientes de agua.
- Daños a los ecosistemas en general.

En otras partes del mundo se ha estudiado el impacto de contaminantes a la salud humana y al medio ambiente, como lo menciona la Iniciativa del Sur de los Montes Apalaches, la cuál evalúa la calidad del aire y los efectos en la salud y ecosistemas resultantes de las estrategias de control de emisiones para reducir el efecto de los impactos de ozono, partículas y deposición ácida. Para lograr esto, se hizo un modelado atmosférico para simular el proceso fisicoquímico de las fases gas y aerosol de los contaminantes en la atmósfera (Boylan y col. 2006). En Kuching, Sarawak, Malasia, un modelo de dispersión de aire fue aplicado en la Zona Industrial Sama Jama para estimar la presencia de químicos orgánicos tóxicos, donde el xileno fue el químico que superó el límite máximo de concentración en un 19%, pero la población cercana a esta planta de

electrónicos y sus trabajadores no presentaban riesgo con los químicos estudiados (Law y col. 2006).

No existe evidencia en bibliografía de estudios, como los mencionados anteriormente, hechos en Monterrey. Esto nos motiva a que no basta con medir contaminantes e informar a la comunidad que los niveles de contaminación son satisfactorios, sino dar el tratamiento a los datos, predecir daños e implementar planes de control ambiental.

1.8 Hipótesis y Objetivos

1.8.1. Hipótesis

Es posible medir la dispersión de contaminantes atmosféricos de plantas termoeléctricas, utilizando un modelo de dispersión para proponer alternativas para las futuras urbanizaciones en zonas que resulten con altas concentraciones de contaminantes y sus impactos a la salud.

1.8.2. Objetivo General

Estudio de la relación entre los contaminantes generados por plantas termoeléctricas y sus impactos a la salud humana por medio de un modelo de dispersión, para proponer alternativas para las urbanidades con altos índices de contaminación.

1.8.3. Objetivos Particulares

1. Seleccionar el dominio de simulación.
2. Seleccionar el período de simulación.
3. Analizar las condiciones meteorológicas del período de simulación seleccionado.
4. Caracterizar las emisiones de la termoeléctrica de estudio.
5. Modelar la dispersión de contaminantes.
6. Predecir los impactos a la salud en base a las concentraciones de los contaminantes estudiados.
7. Analizar el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas en el período de simulación estudiado.
8. Proponer controles ambientales en a la dispersión de contaminantes e impactos a la salud.

1.8.4. Metas

- 1 a) Determinar el dominio de simulación en base al alcance del simulador de dispersión de contaminantes.
- 2 a) Obtener las concentraciones de contaminantes de la Estación Noreste de SIMA.
b) Obtener los datos meteorológicos de la Estación Noreste de SIMA.
- 3 a) Seleccionar los períodos representativos en condiciones meteorológicas del 2004 por análisis cluster y éstos serán los períodos de simulación a trabajar.
b) Calcular las rosas de viento de cada período de simulación.
- 4 a) Calcular el consumo aproximado de combustóleo en cada período de simulación.
b) Consultar los factores de emisión para fuentes fijas en la EPA.
c) Predecir las emisiones de la termoeléctrica de SO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en base a los dos puntos anteriores.
- 5 a) Usar la información del punto anterior para la entrada de datos al simulador SCREEN para predecir la dispersión de contaminantes en función de la distancia de la termoeléctrica.

- 6) a) Predecir los impactos a la salud de PM_{10} y $PM_{2.5}$ con el uso del simulador AirQ con información del IMSS y factores dosis – respuesta de la WHO en el período de simulación seleccionado.
- b) Predecir daños a la salud usando la fracción inhalada de cada contaminante por la población afectada.
- 7) a) Analizar el cumplimiento a las normas oficiales mexicanas de cada contaminante en el período de simulación seleccionado.
- 8) Analizando la información de dispersión de contaminantes e impactos a la salud, se hará una evaluación de las zonas más afectadas con altos índices de contaminación en cuanto a proponer controles ambientales.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Selección del dominio de simulación

El dominio de simulación es el terreno donde se hará la evaluación de la dispersión de contaminantes y los impactos a la salud. Se seleccionó un radió de 40 km a la redonda de la central termoeléctrica en estudio por tener a los municipios receptores con una población mayor a 10000 habitantes (tabla 4). Esta zona abarca los municipios circundantes a San Nicolás de los Garza y la AMM (INEGI, 2007).

TABLA 4

RECEPTORES DE CONTAMINANTES

Municipios	Distancia (Km)	Población	Altitud (MSNM)
Apodaca	3	418 784	430
San Nicolás de los Garza	6	476 761	500
Monterrey	10	1 133 814	530
Guadalupe	13	69 1931	480
Pesquería	19	12 258	330
General Escobedo	20	299 364	510
Juarez	20	144 380	403
Ciénega de Flores	24	14 268	440
Santa Catarina	25	259 896	680
Cadereyta Jiménez	25	73 746	360
Salinas Victoria	26	27 848	464
Hidalgo	34	15 480	549
García	40	51 658	697

MSNM : Metros sobre el Nivel del Mar

De acuerdo a la tabla 4 los municipios de Apodaca y San Nicolás de los Garza son los más cercanos a la termoeléctrica, donde es esperado que se presenten los mayores índices de contaminación. En García y Santa Catarina son los de mayor altitud sobre el nivel del mar y sobre la termoeléctrica y las localidades de Hidalgo y García son las más alejadas de la termoeléctrica. Monterrey es la población con más habitantes y Pesquería es la menos poblada. Los receptores se pueden visualizar en la figura 4 donde el círculo representa los 40 km alrededor de la termoeléctrica.

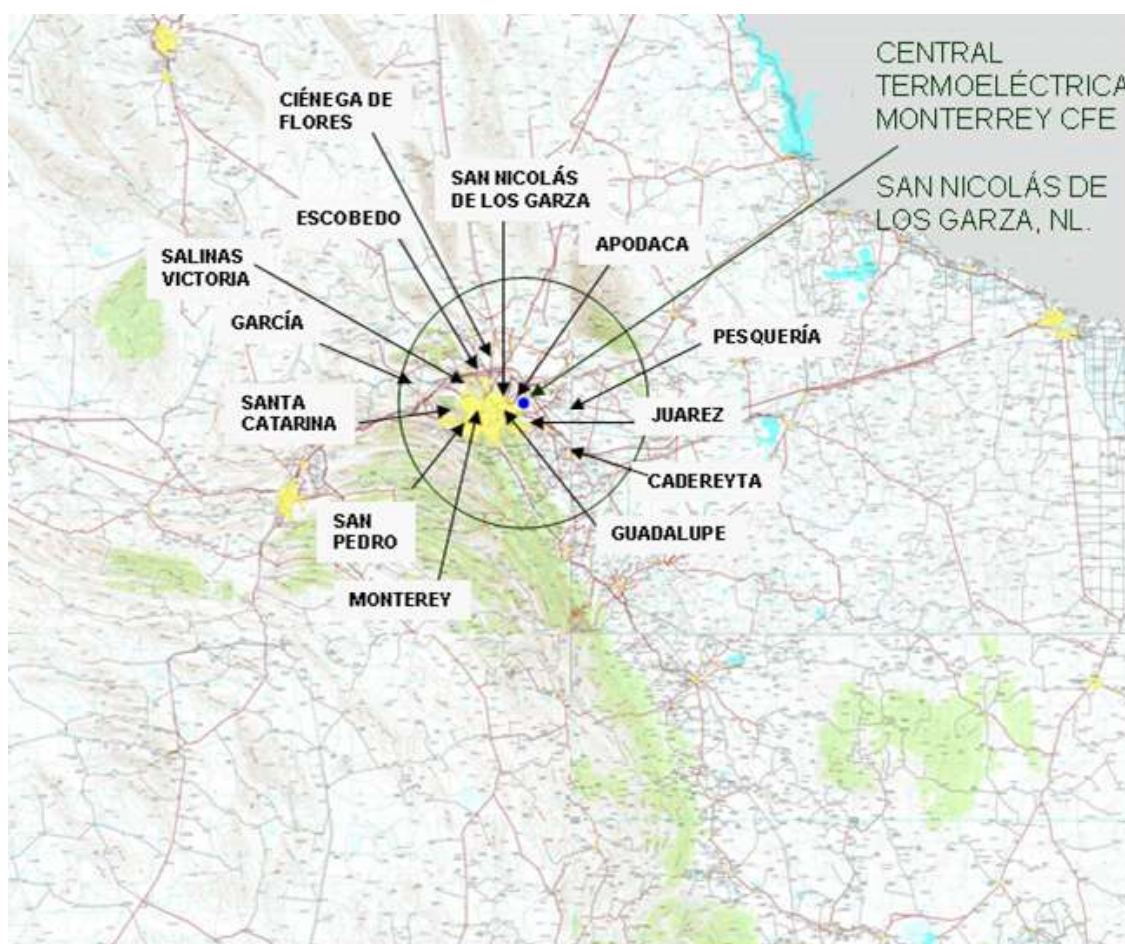


Figura 4 Dominio de simulación
Fuente: INEGI, 2007

Las coordenadas del dominio de simulación son $26^{\circ} 10'$ y $25^{\circ} 19'$ de latitud norte y $100^{\circ} 42'$ y $99^{\circ} 42'$ de longitud oeste.

Para representar en forma gráfica la dispersión de los contaminantes, en un mapa del AMM se hace una cuadrícula de 5 km, manteniendo como el centro a la termoeléctrica y en la parte de resultados se señalarán los receptores involucrados en la dispersión de contaminantes. La figura 5 se muestra la cuadrícula del dominio de simulación que se va a emplear en la dispersión.

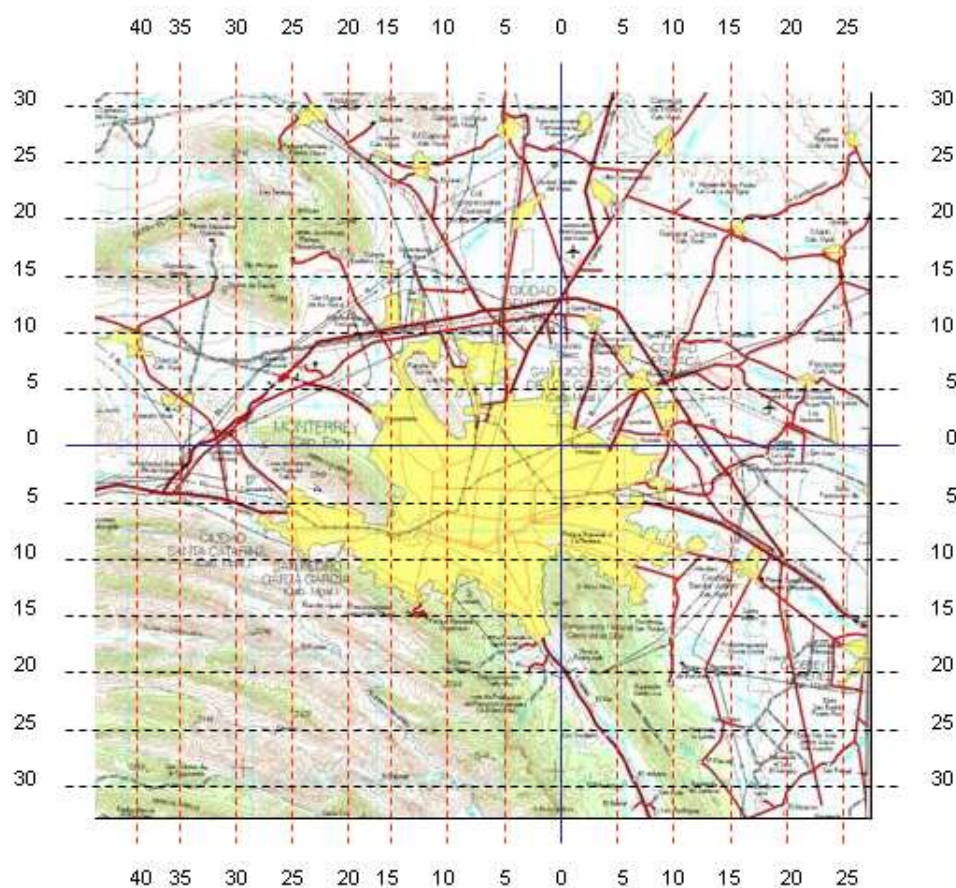


Figura 5 Dominio de simulación con escala de distancias
Fuente: INEGI, 2007

En las figuras 4 y 5 se puede apreciar que en la parte sur y suroeste el AMM zonas de color verde, las cuáles son las zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental, Cañón del Huanuco y el Cerro de la Silla. Estas barreras naturales son susceptibles de daños ambientales por los contaminantes.

1.2 Concentraciones de emisiones reportadas por SIMA

El año 2004 fue seleccionado para el estudio por presentar episodios de contaminación significativos, en donde los límites de las NOMs de la tabla 2 se rebasaron en algunas épocas del año. El SO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ son los contaminantes a los que se les va a simular su dispersión e el dominio de simulación de 40 km.

Los datos de contaminantes en 24 horas que se muestran en las figuras 6 y 7 son datos máximos semanales reportados para cada contaminante. La línea que corresponde al color de la serie de cada contaminante es su límite reporta en las NOMs.

En la figura 6 las $\text{PM}_{2.5}$ superan casi todo el año la norma, caso contrario para las PM_{10} , donde se muestra que los meses de octubre a diciembre superan la norma. En el SO_2 de la figura 7 los meses de julio y agosto presentan picos que superan la norma, pero el resto de los meses están por debajo de la norma.

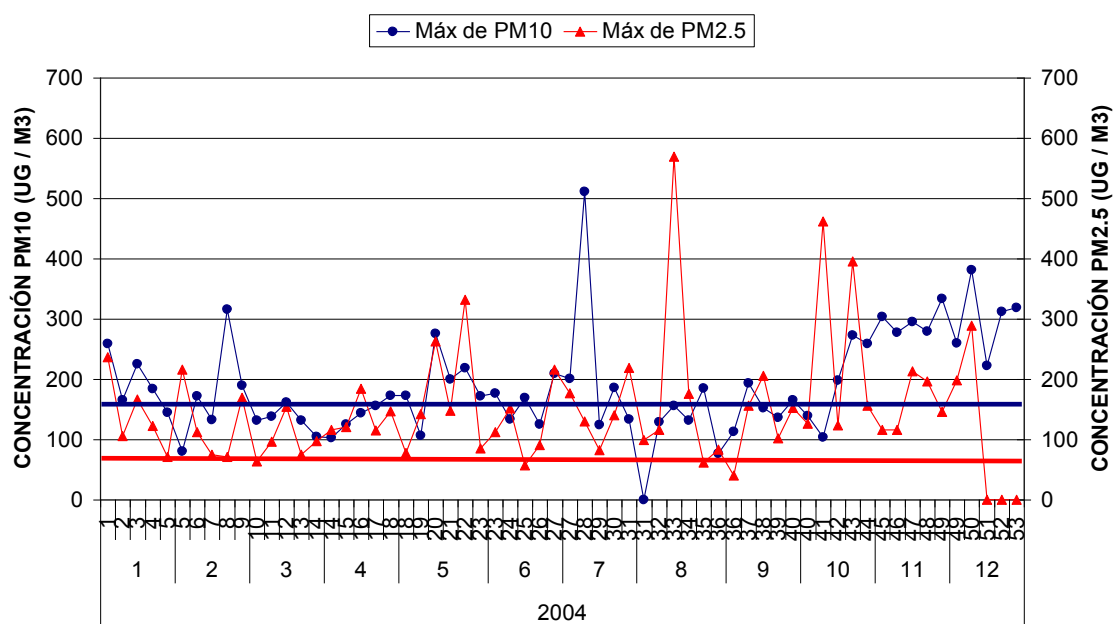


Figura 6 Máximos Semanales de PM10 y PM2.5 en el 2004

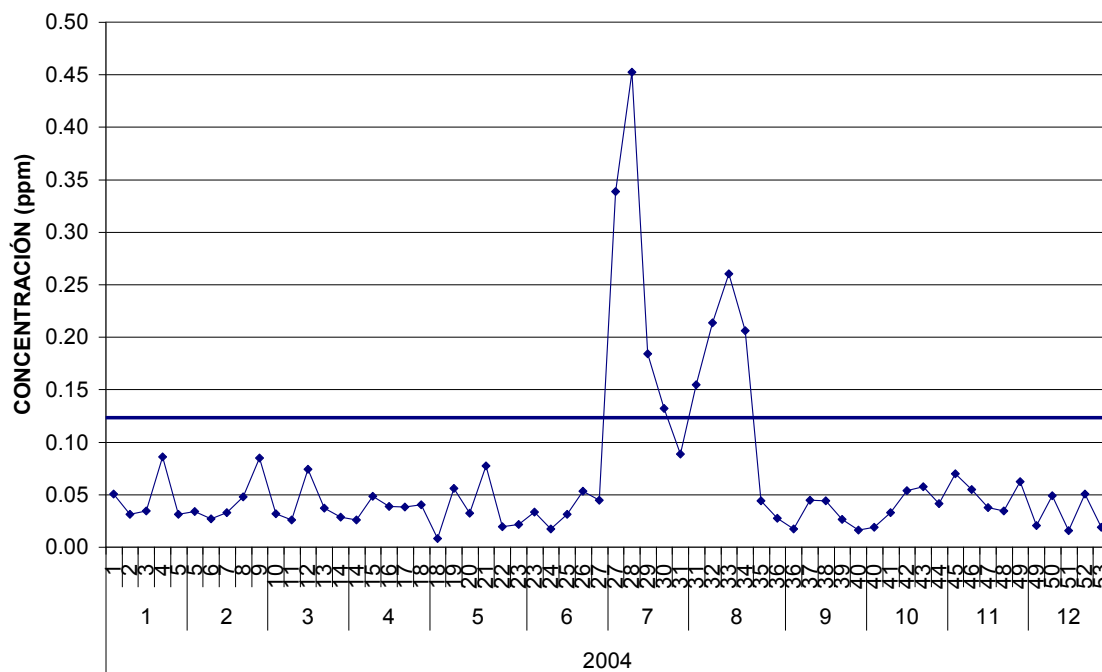


Figura 7 Máximos Semanales de SO₂ en el 2004

1.3 Condiciones Meteorológicas reportadas por SIMA

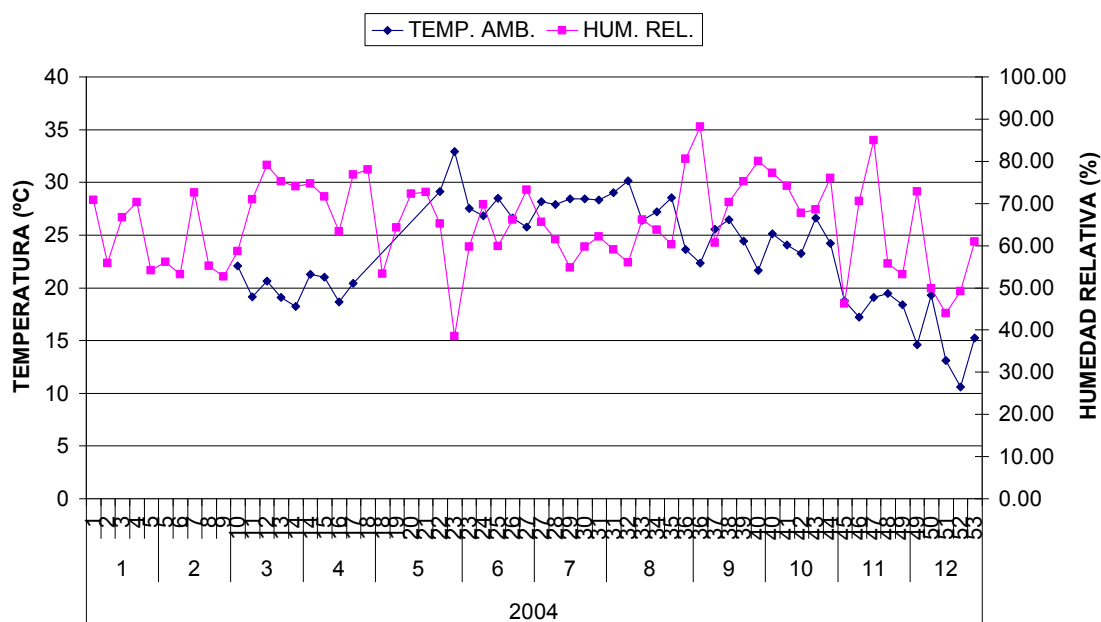


Figura 8 Temperatura y humedad relativa semanales

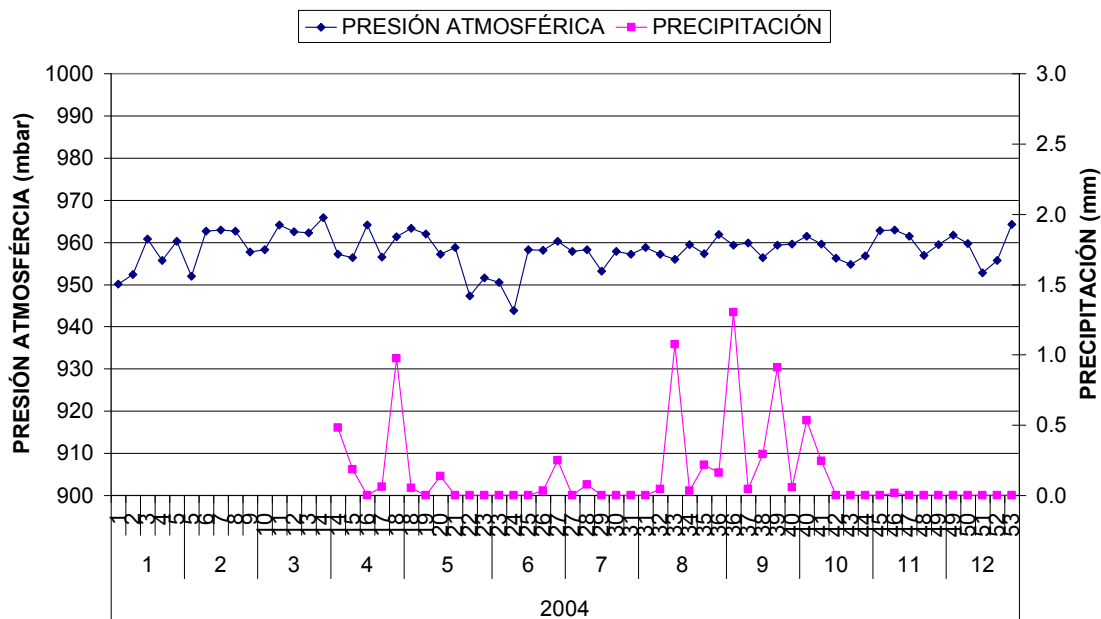


Figura 9 Presión atmosférica y precipitación semanal

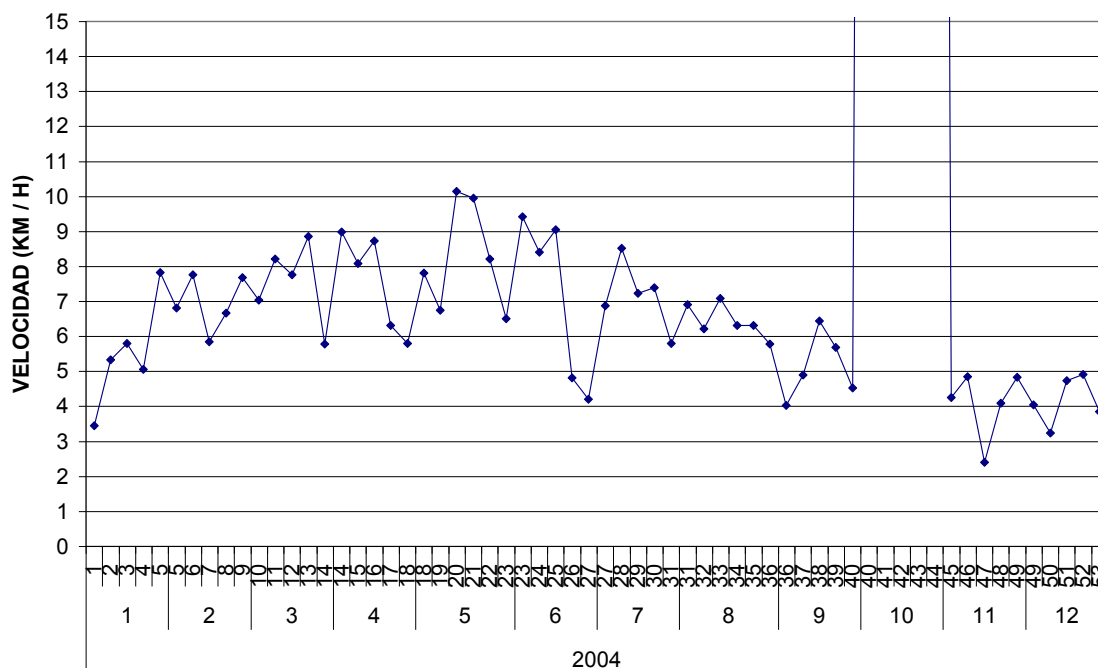


Figura 10 Velocidad del viento semanal

Las condiciones meteorológicas de temperatura ambiente y humedad relativa de la figura 8 muestran que la humedad relativa fue de media a alta, lo que hace suponer que hubo poca precipitación (figura 9). Al haber poca precipitación la deposición de los contaminantes será en seco y no en húmeda (Bishop, 2000). Al haber poca precipitación también hay poca probabilidad de lluvia ácida (Camuffo, 1992).

La velocidad de viento (figura 10) será utilizada, junto con su °Azimut (no se presentan en la figura 10) para simular las rosas de viento mensuales para predecir hacia donde se van a dispersar los contaminantes.

1.4 Factores de emisión de SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}

Los factores de emisión son valores representativos mediante los que se relaciona la cantidad emitida de un contaminante con la actividad del equipo asociada con dicha emisión. Estos factores se expresan normalmente como un cociente entre la masa del contaminante emitido y el peso, volumen, distancia o duración de la actividad que provoca la emisión.

Los factores de emisión representan el promedio de la información disponible sobre las emisiones. Sin embargo, el uso de factores de emisión introduce cierto grado de incertidumbre, debido a las variaciones en las características de operación de las fuentes, en los procesos de emisión, en la composición del combustible y en la información disponible para calcular el factor de emisión.

Hasta ahora en México no se han generado factores de emisión para fuentes de combustión industrial, por lo que comúnmente se recurre a factores de emisión de Estados Unidos, que se pueden consultar en el manual AP-42, los cuáles se clasifican de acuerdo con el tipo de equipo, de proceso y de combustible.

La estimación de las emisiones de esta central se basó en los factores de emisión del AP-42 para la generación de energía eléctrica mediante el uso de combustóleo, que

es aproximadamente equivalente al denominado Residual Fuel Oil No. 6 correspondientes al tipo de configuración tangencial. (INE, 2007).

Para calcular los factores de emisión de los contaminantes estudiados se determinó utilizar, para el SO₂ la tabla 1.3-1 de Boilers > 100 Millones BTU / h y para las PM₁₀ y PM_{2.5} la tabla 1.3-5 de Calentadores Industriales de aceite residual las cuáles se citan en los apéndices. (EPA, 2007). El contenido de azufre en el combustóleo usado en la termoeléctrica se manejó en un 4% para los cálculos. La eficiencia de la combustión se supuso en un 40% (Smith, Van Ness & Abbott, 1999).

La capacidad de producción de electricidad de la termoeléctrica en estudio es de 465 MW y en el 2004 se generaron 2870 GWh, lo que equivale a 33 MW. (Miller, 2004). El poder calorífico promedio del combustóleo producido en México es de 40.20 MJ /L.

Con el dato de la generación y el poder calorífico se calcula el volumen de combustóleo usado para generar la electricidad mencionada. Este dato se extrapola a una eficiencia de combustión del 40% para estimar el volumen real para la producción. Con los factores de emisión calculados se obtiene la emisión del contaminante en estudio.

Debido a la complejidad del equipo para la generación de energía y otros factores, los valores de volumen de consumo de combustóleo (considerado el 40% de eficiencia de combustión) se escalan a las emisiones de SO₂ reportadas en esta termoeléctrica en el 2002 para tener una aproximación del consumo real de combustóleo. (Miller, 2004).

Con el dato de consumo de combustóleo corregido, se calculan las emisiones usando el factor de emisión que ya se había calculado.

1.5 Rosas de Viento

El viento es un elemento climatológico definido como "el aire en movimiento" y se describe por dos características: 1) la velocidad y 2) la dirección. (INE, 2007)

Debido a que se considera un vector con magnitud (dada por la velocidad) y dirección, se creó una gráfica llamada rosa de vientos representar simultáneamente la relación que existe entre las características que componen el viento. La información de cada rosa de viento muestra la:

- Frecuencia de ocurrencia de los vientos en 16 sectores de dirección y en clases de velocidad del viento para una localidad y un periodo de tiempo dado, la clasificación más utilizada para el viento es la ESCALA BEAUFORT.
- Identificación de la estación, mes y periodo de registro.
- Porcentaje de frecuencia de viento en calma.
- Esquema de colores usados para categorizar las velocidades del viento.

Las rosas de viento se generan en el simulador WRPLOT el cual requiere como datos de entrada el año, mes, día, hora, dirección del viento en ° Azimut, velocidad del viento en km / h y la precipitación en mm.

1.6 Generación de dispersión de contaminantes

Para generar una dispersión de contaminantes en función de la distancia se usa el simulador SCREEN aprobado por la EPA, el cuál requiere los siguientes datos de entrada para generar la información:

- Emisión del contaminante en unidades de g / s
- Altura de la chimenea. En el simulador se usaron 50 m
- Diámetro de chimenea. En el simulador se consideraron 5 m
- Temperatura de gases de emisión. Se consideraron 25 m /s
- Temperatura de gases de emisión. Se alimentó 428 K (155 °C)
- Temperatura ambiente. Se simularon cuatro temperaturas: 283, 288, 293 y 298 K (10, 15, 20 y 25 °C) de acuerdo al período representativo que se vaya a usar.
- Tipo de terreno de acuerdo al receptor. Hay dos tipos de suelo en función de la altura del receptor sobre la boca de la chimenea. El tipo simple es

para el receptor con altitud menor a la altura de la chimenea y el tipo complejo que es para receptores con altitud arriba de la altura de la chimenea. Este último caso es el de García y Santa Catarina. Se alimenta la altitud en m del receptor con respecto a la altura de la chimenea y la distancia del receptor en m respecto al emisor.

- Distancia del receptor en m respecto a la fuente de emisión.

1.7 Generación de impactos a la salud

El simulador que se empleará en este punto es el AirQ 2.2.3 de la WHO.

Los datos de entrada para el simulador fueron:

- a) población afectada. Se consideró la población de San Nicolás de los Garza por presentarse en este municipio los mayores incrementos a las normas.
- b) Máximos y medias del contaminante de estudio en el área de impacto. Aquí se tomaron en cuenta los datos reportados en la estación noreste SIMA.
- c) Máximos y medias del contaminante de estudio en la estación de monitoreo. Aquí se consideraron los datos de los períodos de simulación de la estación.
- d) Se dividió en intervalos de $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$ el intervalo de 0 a $200 \mu\text{g} / \text{m}^3$ y se cuantificaron el número de días en cada rango de $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$

- e) Tasa basal de incidencia de enfermedad que se calculó como el número de casos por cada 100 000 habitantes.
- f) Los coeficientes de dosis respuesta los tiene por default el simulador.

Los datos para calcular la tasa basal de incidencia de enfermedad se calculó en base a datos del IMSS y de la población asegurada y no asegurada del municipio de San Nicolás de los Garza.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 Selección del Período de Simulación

3.1.1 Rosas de Vientos

De las figuras 11 a 21 se muestran las rosas de viento mensuales simuladas, donde se pueden ver algunas diferencias a lo largo del año.

En todos los meses siempre se presenta una componente del viento hacia el noroeste de San Nicolás de los Garza, lo cuál indica que ciertas zonas de dicho municipio y de Escobedo presentan contaminación producto de la termoeléctrica en estudio. Los municipios de García, Hidalgo y Salinas Victoria también se verán afectados de alguna forma.

En los meses de Noviembre a Enero (figura 1, 20 y 21) la componente del viento tiene dirección marcada también hacia el noroeste, afectando a Guadalupe, Juárez y Cadereyta.

En los meses de julio a noviembre (figuras 17 a 21) el viento muestra dirección hacia el suroeste, viéndose afectados los municipios de San Nicolás, Monterrey, Guadalupe, San Pedro y Santa Catarina.

En el período de noviembre a enero (figura 1, 20 y 21) se aprecia un equilibrio o transición de la dirección de los vientos entre el noroeste y el suroeste producto de frentes fríos que se presentan en la zona (López et al 2002).

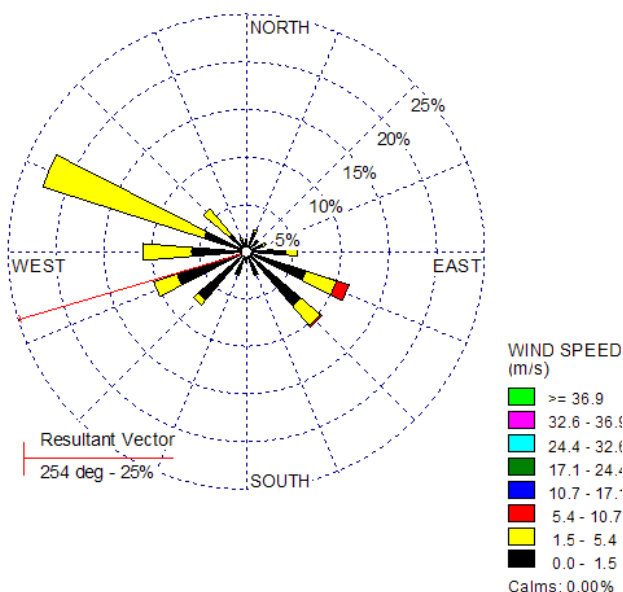


Figura 11 Rosa de Viento Enero 2004

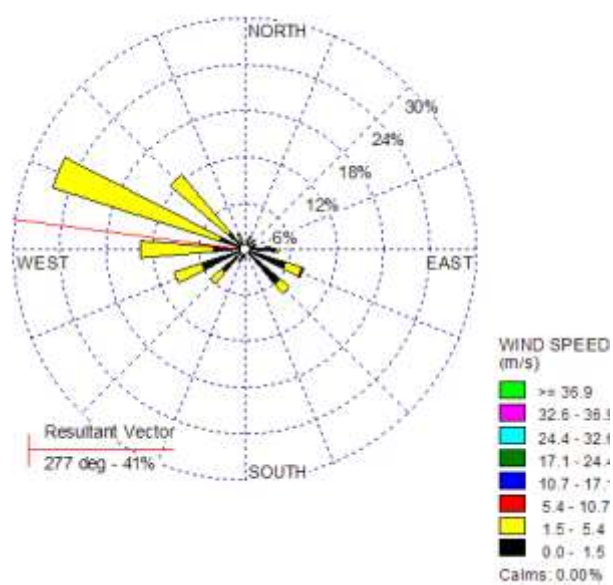


Figura 12 Rosa de Viento Febrero 2004

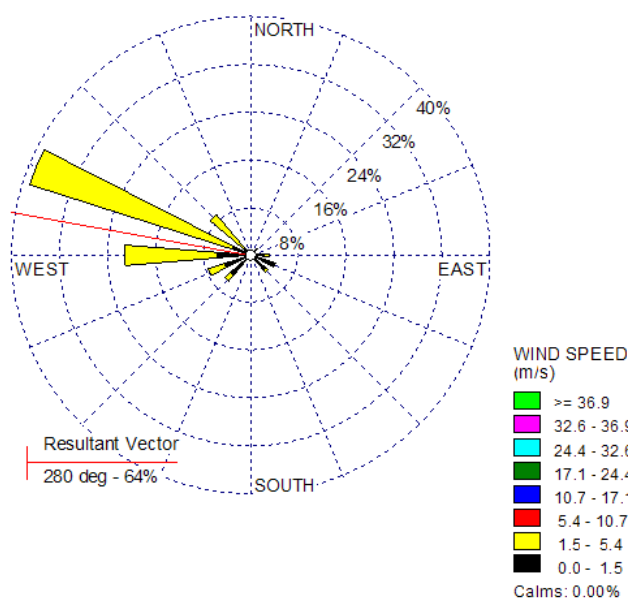


Figura 13 Rosa de Viento Marzo 2004

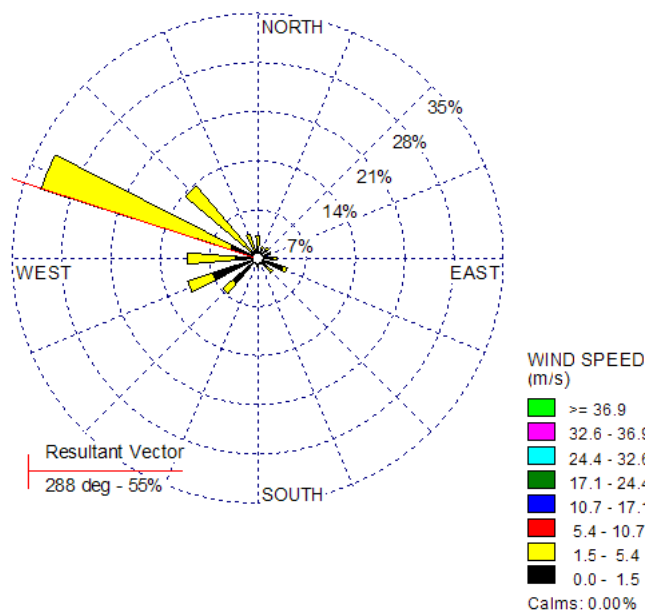


Figura 14 Rosa de Viento Abril 2004

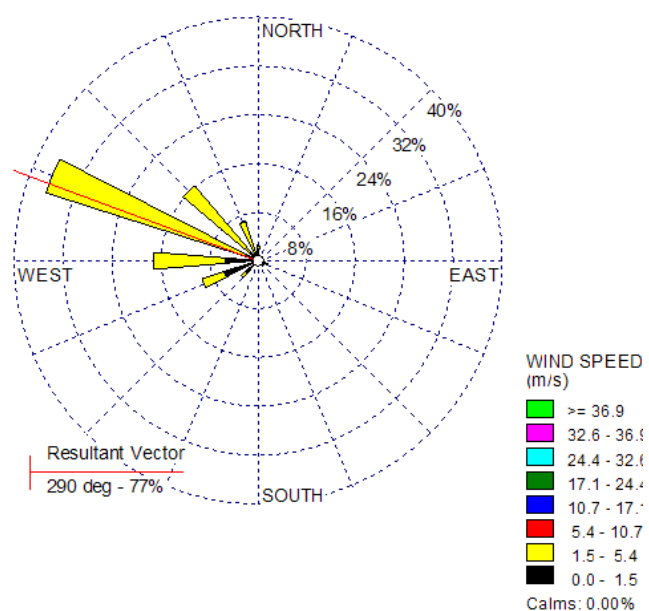


Figura 15 Rosa de Viento Mayo 2004

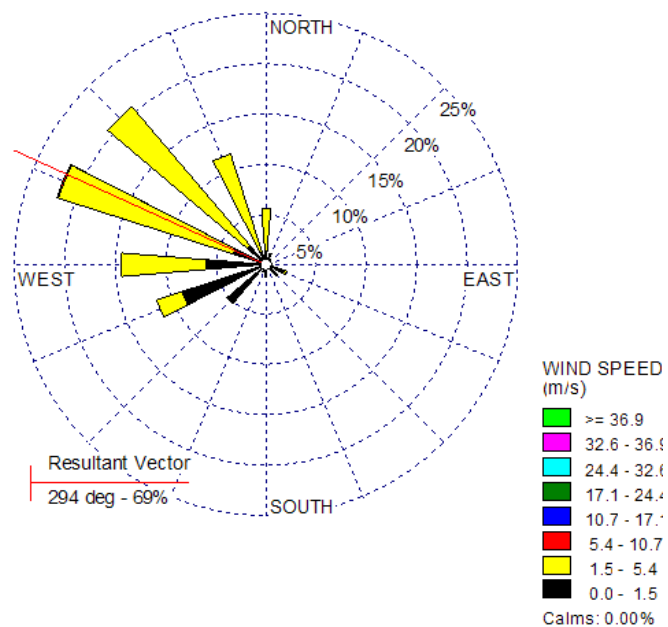


Figura 16 Rosa de Viento Junio 2004

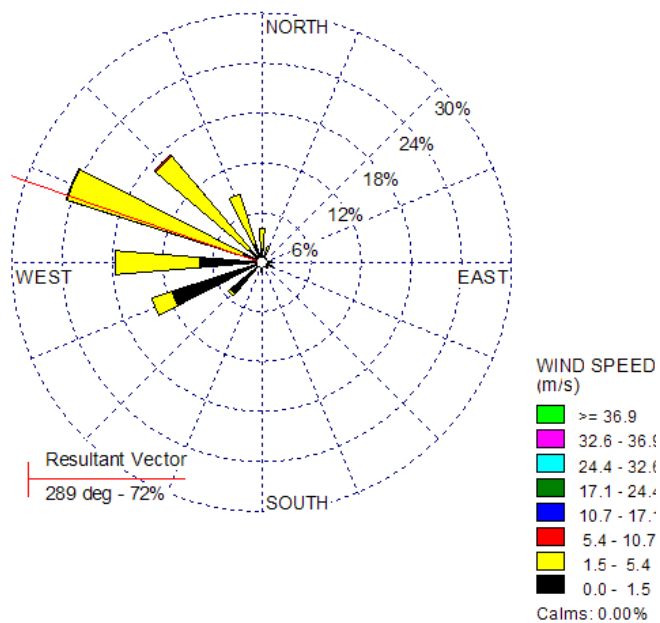


Figura 17 Rosa de Viento Julio 2004

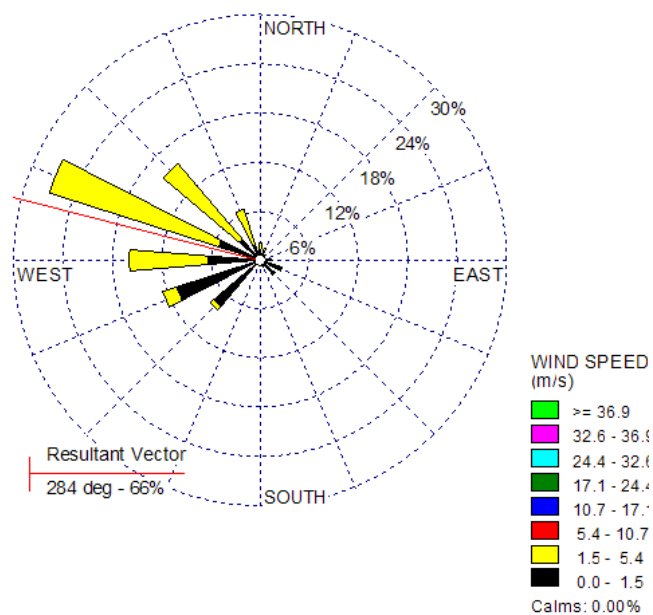


Figura 18 Rosa de Viento Agosto 2004

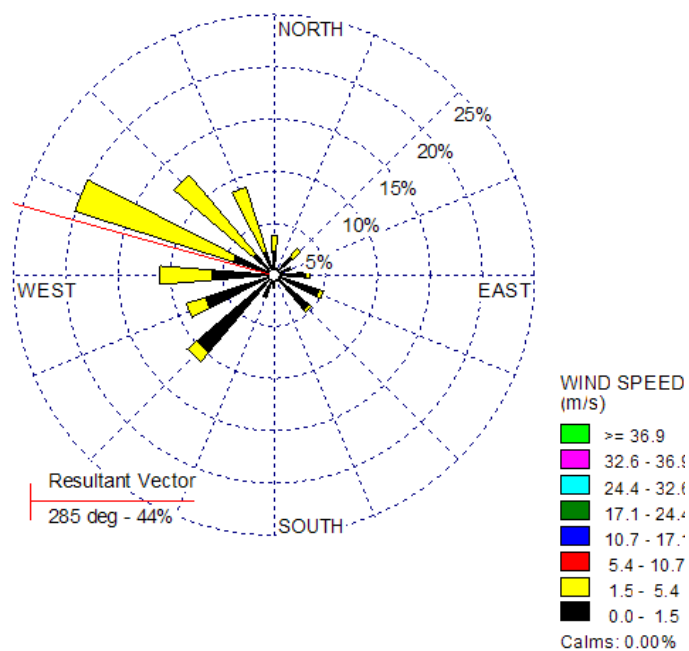


Figura 19 Rosa de Viento Septiembre 2004

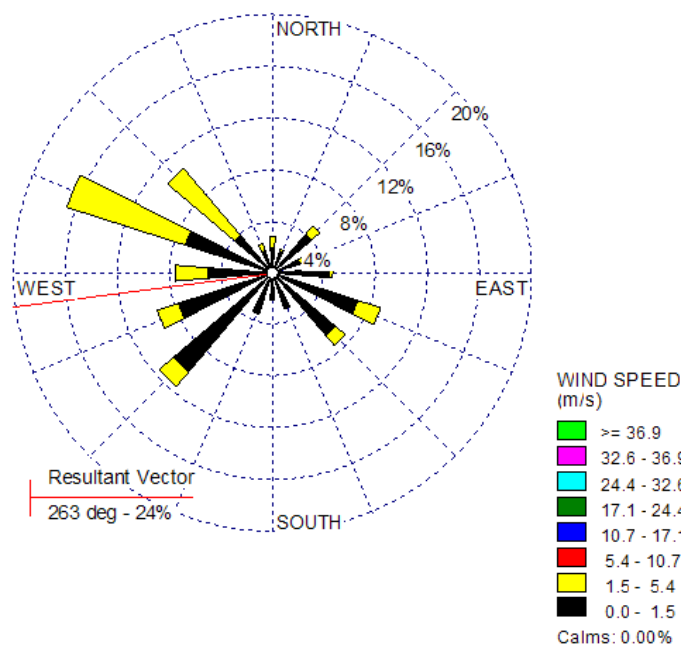


Figura 20 Rosa de viento Noviembre 2004

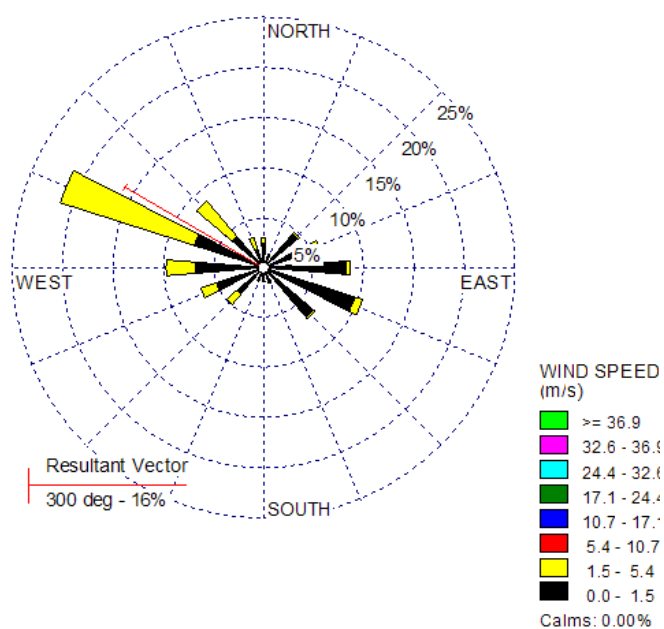


Figura 21 Rosa de Viento Diciembre 2004

3.1.2 Análisis Cluster para períodos representativos

Para encontrar períodos de tiempo con condiciones similares de condiciones atmosféricas, se empleó la técnica estadística de análisis cluster. Para esto se alimentaron los 53 promedios semanales de temperatura ambiente (T_a), humedad relativa (H_r), precipitación pluvial (P_p), presión atmosférica (P_a) y velocidad lineal de viento (V_v) reportados en la estación meteorológica.

EL programa usado para la simulación fue el simulador estadístico MINITAB Versión 6 donde se hizo la simulación usando cinco clusters de nivel para calcular las distancias euclidianas de la matriz de datos usada.

Cada cluster usado es un período representativo y este número se definió en base a simular un dendograma y ver cuantos clusters o períodos representativos se podían obtener. Al verificar que eran cinco, se definieron las semanas que abarcan cada período representativo de simulación.

La figura 22 muestra el dendograma en donde están mencionados los períodos representativos para la simulación. Los períodos de simulación o representativos se pueden distinguir con diferentes colores en el dendograma.

En la tabla 4 se mencionan los diferentes períodos de simulación calculados con el análisis cluster y la descripción de las condiciones meteorológicas que se presentaron en cada período.

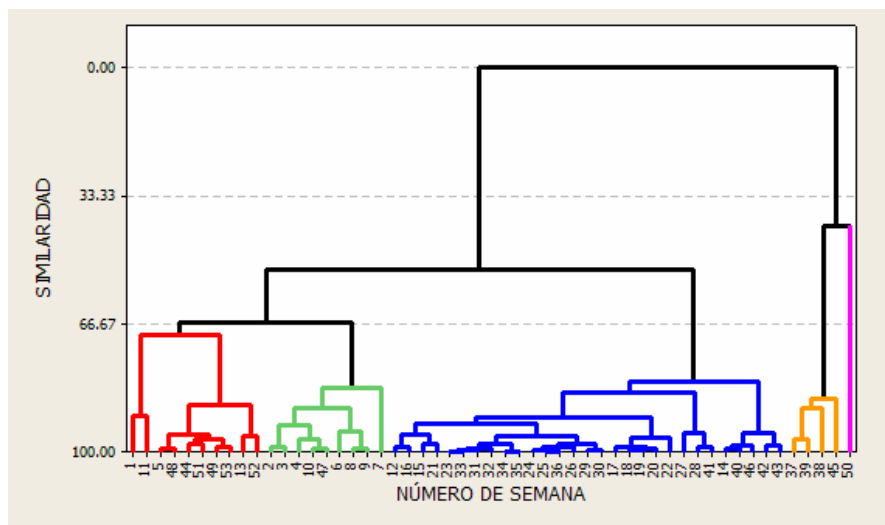


Figura 22 Dendrograma : Clasificación de las variables semanales

Para obtener la semana representativa de cada período se obtiene el promedio de cada cluster y se selecciona la semana que tenga mayor similitud con el promedio del cluster.

La semana 3, que abarca del 9 al 15 de enero (tiempo de invierno), es la primera semana representativa, donde hubo temperatura fría, humedad media, ausencia de lluvia y velocidad de viento media, por lo que el período fue frío y ligeramente seco.

La semana 20, que abarca del 8 al 14 de mayo (tiempo de verano), es la segunda semana a simular y se le llamó templado y ligeramente seco por presentar temperatura media, humedad media, ausencia de precipitación y velocidad de viento moderada.

La semana 38, que abarca de l 11 al 17 de septiembre (tiempo de verano), es la tercera semana representativa y se presentó temperatura templada, mucha humedad, alta precipitación y velocidad de viento moderada.

La semana 48, que abarca de 20 al 26 noviembre (tiempo de otoño), es la cuarta semana de simulación y se presenta con temperatura fría, humedad media, ausencia de lluvia y velocidad de viento moderada.

La semana 50, que abarca del 4 al 10 diciembre (tiempo de verano), es la quinta semana representativa y presenta temperaturas muy frías y alta humedad.

TABLA 4
PERÍODOS REPRESENTATIVOS DEL ANÁLISIS CUSTER

PERÍODO	SEMANA	INICIO	FINAL	TEMP. (°C)	% H. R.	LLUVIA (mm)	OBSERVACIONES
1	48	20-Nov	26-Nov	17.0	63	0.0	FRÍO, LIGERAMENTE SECO
2	3	09-Ene	15-Ene	16.7	39	0.0	FRÍO, MUY SECO
3	20	08-May	14-May	26.9	62	0.0	TEMPLADO, LIGERAMENTE SECO
4	38	11-Sep	17-Sep	25.3	82	1.1	TEMPLADO, MUY HÚMEDO
5	50	04-Dic	10-Dic	9.5	79	0.7	FRÍO, MUY HÚMEDO

PERÍODO	SEMANA	INICIO	FINAL	PRESIÓN ATM. (mbar)	VEL. AIRE (m/s)	OBSERVACIONES
1	48	20-Nov	26-Nov	965	5.72	FRÍO, LIGERAMENTE SECO
2	3	09-Ene	15-Ene	962	4.97	FRÍO, MUY SECO
3	20	08-May	14-May	955	7.34	TEMPLADO, LIGERAMENTE SECO
4	38	11-Sep	17-Sep	957	4.79	TEMPLADO, MUY HÚMEDO
5	50	04-Dic	10-Dic	971	4.83	FRÍO, MUY HÚMEDO

3.2 Factores de Emisión

Los factores de emisión calculados son (tabla 5):

TABLA NO. 5

FACTORES DE EMISIÓN

Contaminante	Factor	lb / 1000 L	kg / 1000 L
SO ₂	157S	628	75.36
PM ₁₀	7.17A	34.77	4.17
PM _{2.5}	4.67A	22.65	2.72

S 4% azufre en el combustóleo
 A $1.12 S + 0.37$

Donde S es el % de azufre en el combustóleo y A es un factor de corrección para las partículas. Estos factores de emisión son encontrados en el manual AP-42.

El % de azufre en el combustóleo se considera en 4 %. La generación de energía de esta termoeléctrica en el 2004 fue de 2870 GWh y usando el poder calorífico del combustóleo de 40.20 MJ / L.

En el 2002 se produjeron 26,792 toneladas de SO₂ en la termoeléctrica. El combustóleo usado en el 2002 se obtienen de la generación de electricidad en el 2002 de

2538 GWh y el poder calorífico del combustóleo de 40.20 MJ / L dando 227.3 m³ y con una eficiencia de 40 % se obtienen 568.210 m³.

Con este último dato de combustóleo usando el factor de emisión del SO₂, la termoeléctrica emitiría 43 toneladas de SO₂. Al escalar los 568.2 m³.de combustóleo para generar 43 toneladas de SO₂ a las 26, 792 toneladas emitidas reportadas en el 2002, se obtienen 354,034 m³ de combustóleo usado en el 2002.

Para el 2004 se escalan los 2,538 GWh y 354,034 m³ del 2002 a los 2,870 GWh generados en el 2004, obteniendo 400,346 m³ de combustóleo. Los 400,346 m³ se usan para generar las emisiones de contaminantes.

Con el dato de combustóleo corregido, se pueden predecir las emisiones anuales de cada contaminante (tabla 6), donde el SO₂ es el contaminante que más se emite. La columna de emisión en g /s es la que se usa como dato de entrada en el simulador SCREEN para generar la dispersión de contaminantes.

Tabla 6

EMISIONES DE LA TERMOELÉCTRICA

COMPUESTO	FACTOR	2004	
	kg / 1000 L	Ton / año	g / s
SO2	75.36	30170	957
PM10	4.17	1669	53
PM2.5	2.72	1089	35
CONSUMO DE COMBUSTÓLEO		400	
(MILLONES DE LITROS)			

3.3 Dispersión de contaminantes

3.3.1 Dióxido de azufre (SO₂)

El modelo SCREEN nos da una dispersión respecto a la distancia de la termoeléctrica donde este compuesto supera ampliamente la norma de 0.13 ppm en 24 horas en prácticamente todo el dominio de simulación involucrado, situación no favorable para la salud humana.

Esto también es un indicativo de que debe haber presencia de lluvia ácida en Monterrey y su Área Metropolitana, objetivo fuera del alcance de este trabajo.

El simulador nos permite cambiar la temperatura ambiente como grado de libertad para variar la concentración de los contaminantes en función de dicha temperatura ambiente, pero en el rango manejado en la tabla No. 7 no hay una diferencia significativa de concentraciones, como se puede ver en la figura No. 23

Cabe mencionar que los municipios de Santa Catarina y García tienen altitudes mayores sobre la altura de las chimeneas de los gases de emisión (50 m), lo cuál hace que las concentraciones de los contaminantes estudiados sean más bajas que el resto de los municipios circundantes a ellos. Esto se puede observar en la figura No. 23

En el simulador SCREEN al tener punto receptores con altitud mayor a la altura de la chimenea de emisiones, se tiene que usar el uso del terreno complejo. Para el caso de los otros municipios se empleó el terreno simple por presentar altitud menor a 50 m con respecto a la base de la chimenea. (Figuras 23 a 28).

Los primeros cuatro kilómetros a la redonda de la termoeléctrica es en donde se presentan las mayores concentraciones y van de 0.90 a 1.00 ppm y esto abarca el municipio de San Nicolás y pequeñas zonas colindantes con Escobedo y Guadalupe.

Los sectores que presentan las mayores concentraciones de este contaminante se mencionan en la tabla No. 7

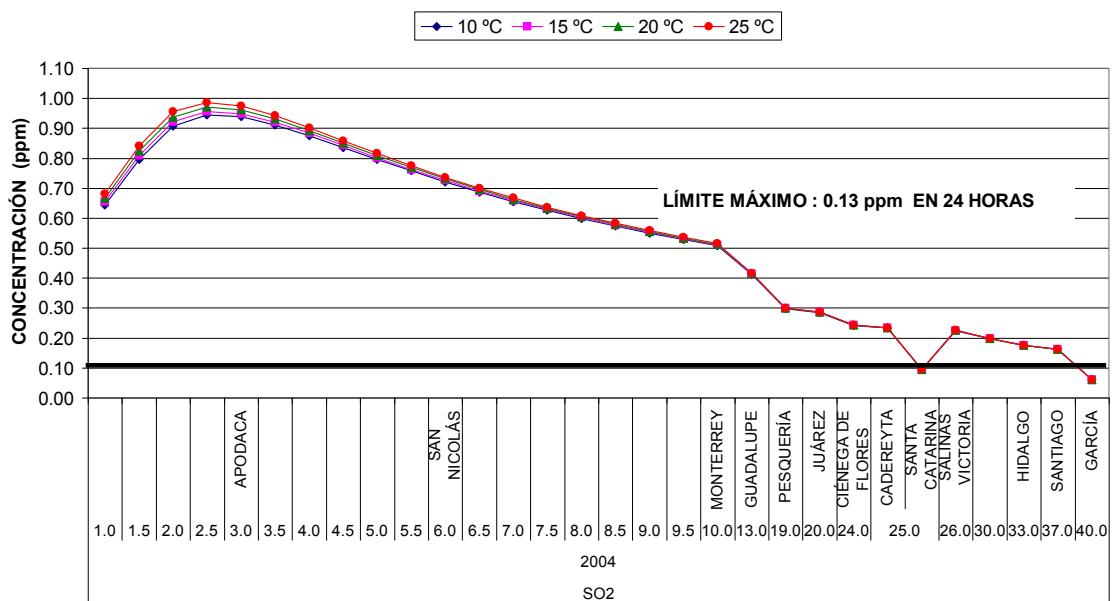
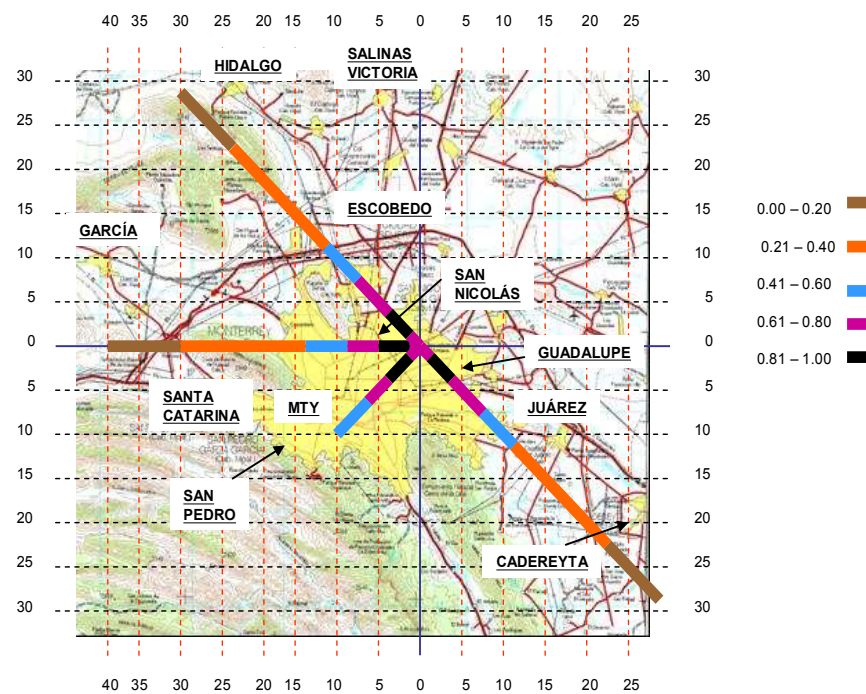


Figura 23 Dispersión de SCREEN para el SO_2

TABLA 7

SECTORES MÁS CONTAMINADOS POR LA PRESENCIA DE SO₂

Colonia o Sector	Municipio
Sector Casa Blanca	San Nicolás
Palmas Diamante (Fraccionamiento Nuevo)	San Nicolás
Las Puentes	San Nicolás
Mezquital	San Nicolás
Lagrange	San Nicolás
Santo Domingo	San Nicolás
Los Angeles	San Nicolás
Villas de San Miguel	Guadalupe

Figura 24 Dispersión del SO₂ semana 3 (9 al 15 enero)

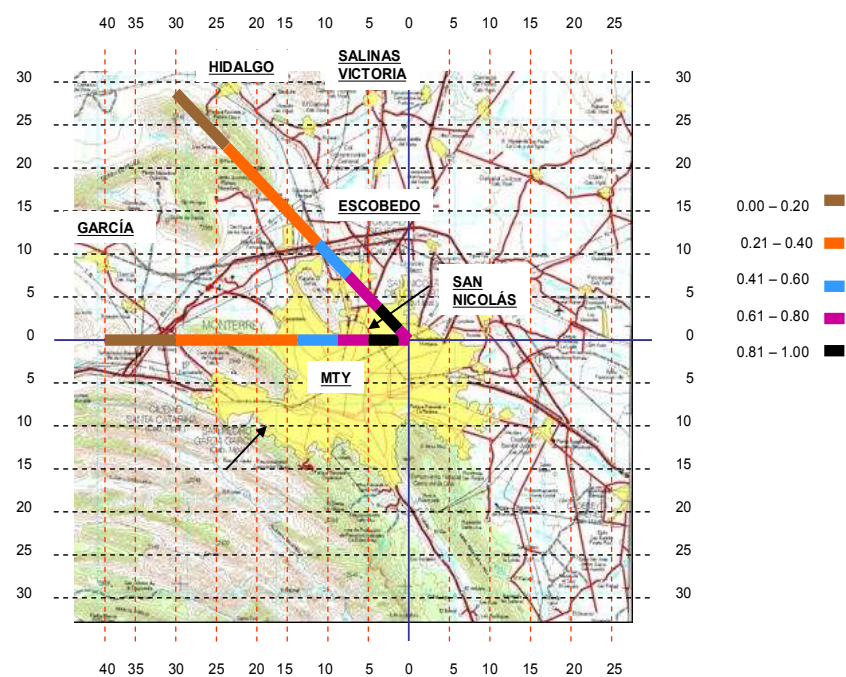


Figura 25 Dispersión del SO₂ semana 20 (8 al 14 mayo)

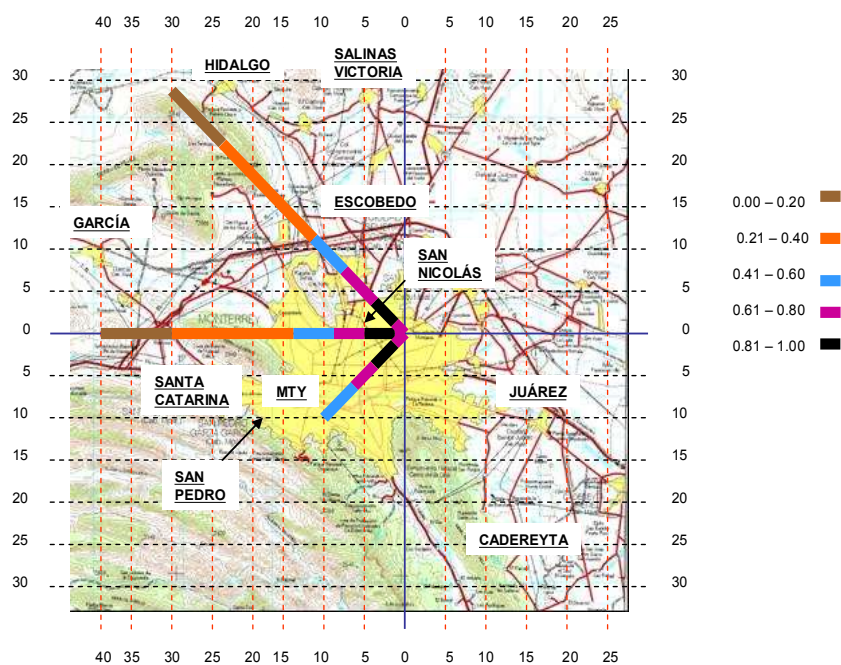


Figura 26 Dispersión del SO₂ Semana 38 (11 al 17 septiembre)

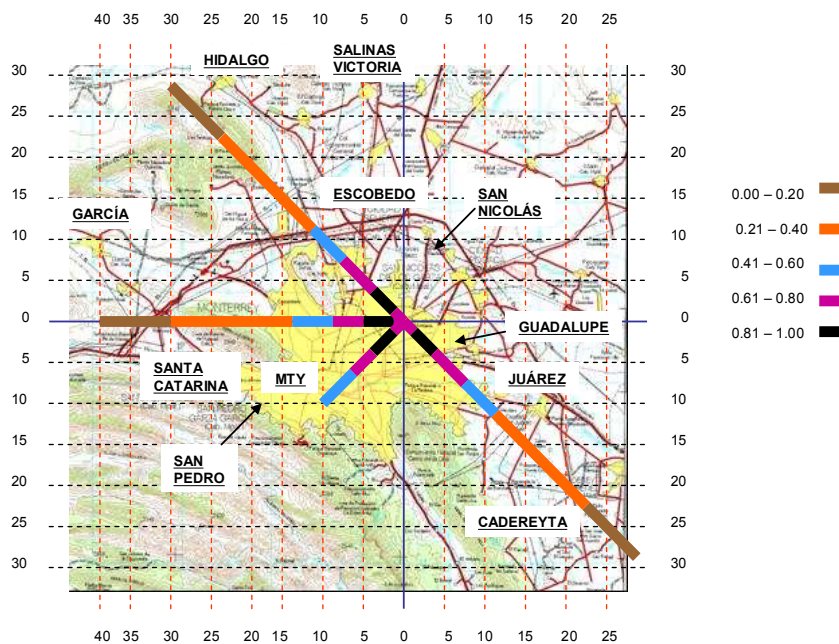


Figura 27 Dispersión del SO₂ Semana 48 (20 al 26 noviembre)

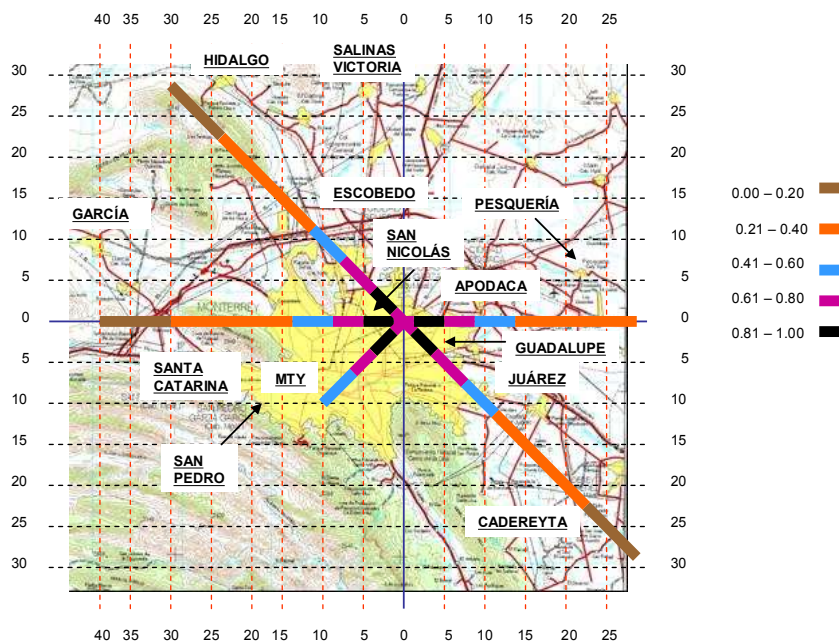


Figura 28 Dispersión del SO₂ Semana 50 (4 al 10 diciembre)

3.3.2 Partículas menores a 10 micras (PM_{10})

En los primeros cinco kilómetros alrededor de la termoeléctrica se supera la norma de $120 \mu\text{g} / \text{m}^3$ en 24 horas.

Nuevamente los municipios de Santa Catarina y García muestran concentraciones más bajas que el resto de los municipios circundantes a ellos, ya que tienen altitudes mayores sobre la altura de las chimeneas de los gases de emisión (50 m). Esto se puede observar en la figura 29.

No hay evidencia de que se supere la norma en los alrededores de la central termoeléctrica (figura 29).

Los sectores que presentan las mayores concentraciones de este contaminante se mencionan en la tabla No. 8 y en las figuras 30 a 34.

Las PM_{10} sobrepasan la norma cerca de la termoeléctrica es debido al bajo nivel de precipitación mostrado a lo largo del año (Zhou Y, 2002).

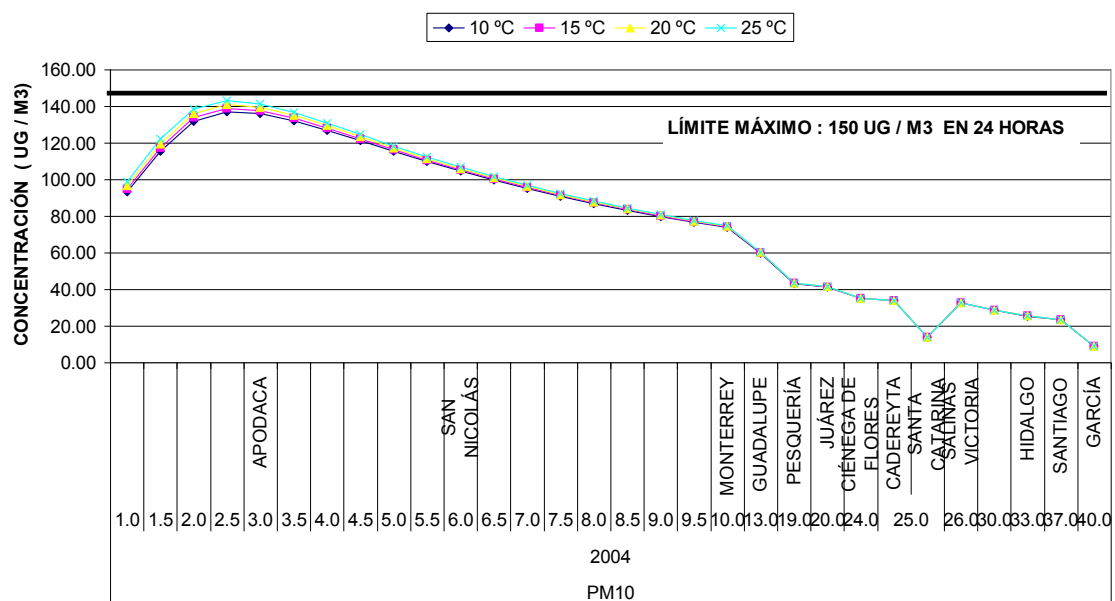


Figura 29 Dispersión de SCREEN para las PM10

TABLA 8

SECTORES MÁS CONTAMINADOS POR LA PRESENCIA DE PM10

Colonia o Sector	Municipio
Sector Casa Blanca	San Nicolás
Villas de San Cristobal	San Nicolás
Palmas Diamante (Fraccionamiento Nuevo)	San Nicolás
Valle de Huinalá	Apodaca
Las Puentes	San Nicolás
Mezquital	San Nicolás
Lagrange	San Nicolás
Santo Domingo	San Nicolás
Los Angeles	San Nicolás
Villas de San Miguel	Guadalupe

La dispersión de las PM10 en el dominio de simulación es menor que la mostrada por el SO₂ ya que sólo en los primeros cinco kilómetros se supera la norma mientras que en el SO₂ sobrepasa en todo el dominio de simulación. Esto debido a que el tamaño de las partículas de las PM10 es mayor a la de SO₂ y sedimentan a menor distancia de la termoeléctrica (López y col , 2005).

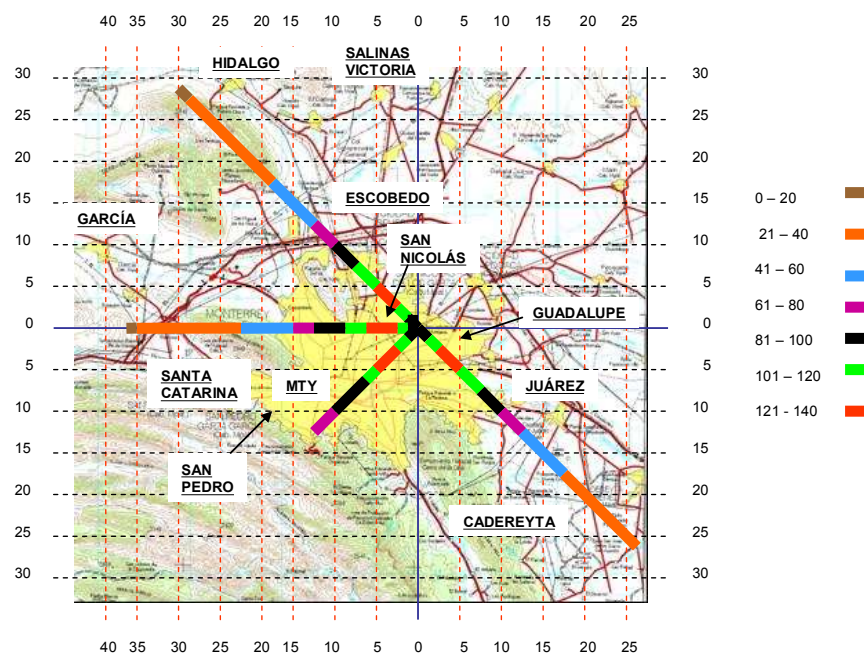


Figura 30 Dispersión de PM10 semana 3 (9 al 15 enero)

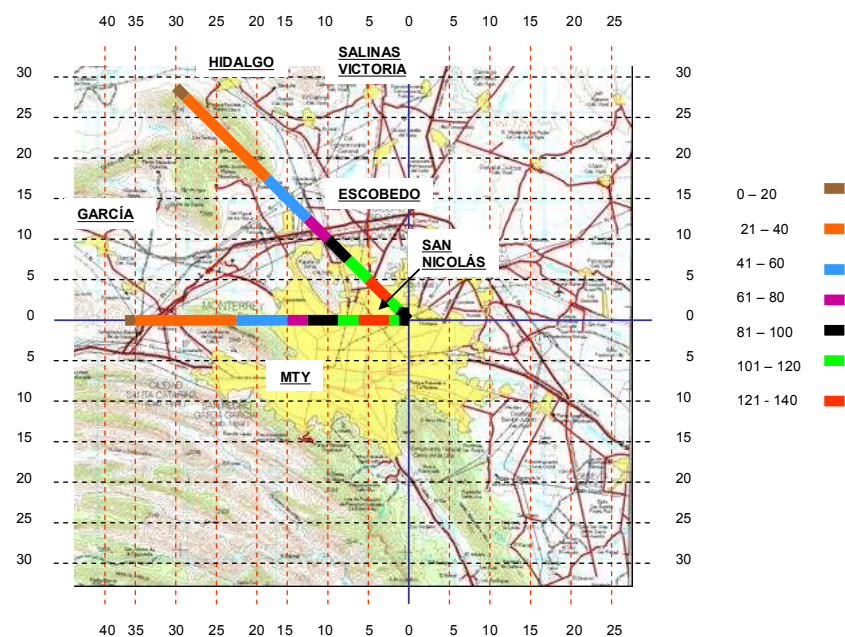


Figura 31 Dispersión de PM10 Semana 20 (8 al 14 mayo)

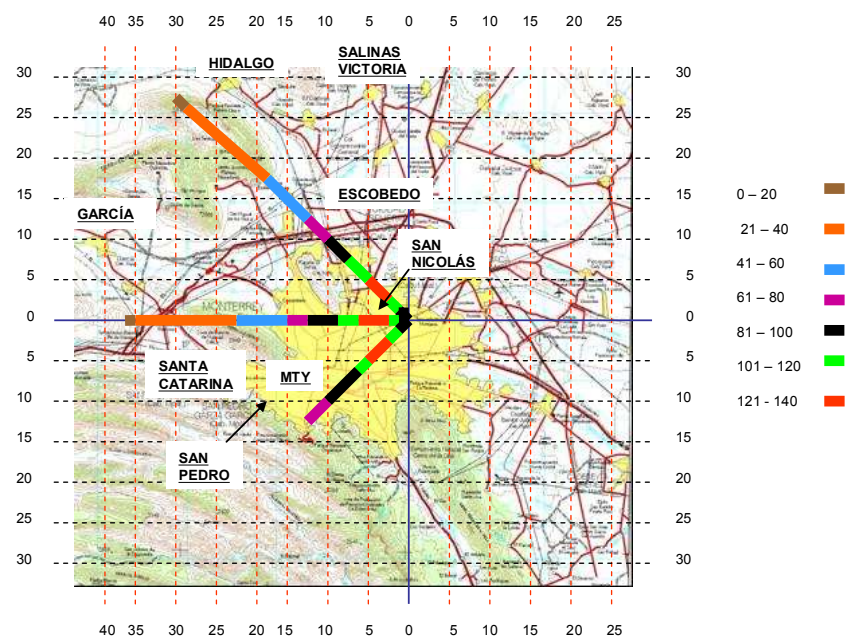


Figura 32 Dispersión de PM10 Semana 38 (11 al 17 septiembre)

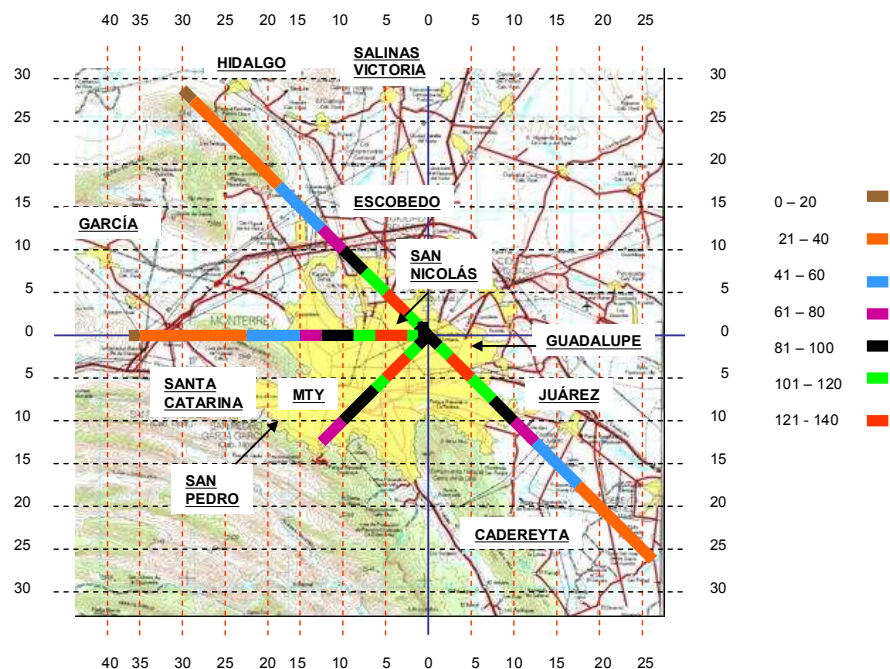


Figura 33 Dispersión de PM10 Semana 48 (20 al 26 noviembre)

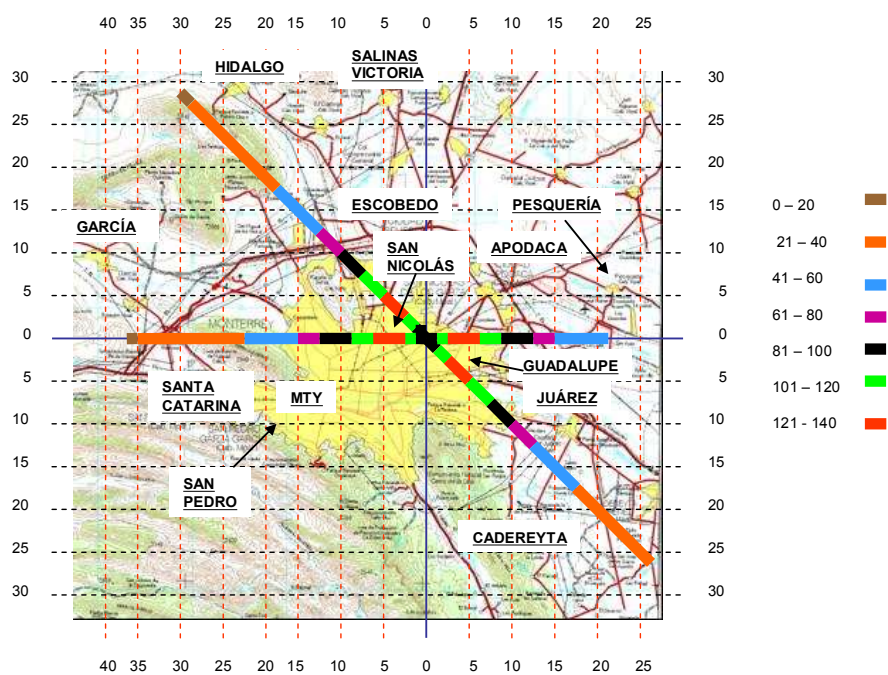


Figura 34 Dispersión de PM10 Semana 50 (4 a 10 diciembre)

3.3.3 Partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5})

En los primeros seis kilómetros y medio alrededor de la termoeléctrica se supera la norma de $65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ en 24 horas.

Debido a que los municipios de Santa Catarina y García tienen una altitud mayor a la altura de la chimenea de la termoeléctrica en estudio, éstos muestran concentraciones más bajas que el resto de los municipios circundantes a ellos, ya que Esto se puede observar en la figura No. 35.

Las concentraciones que superan la norma abarcan los municipios de San Nicolás y una pequeña zona colindante con Guadalupe.

La dispersión de las PM_{2.5} es mayor (mayor distancia arriba de la norma) comparada contra la de las PM₁₀ debido a su tamaño aerodinámico más pequeño (López y col, 2002)

Los sectores que presentan las mayores concentraciones de este contaminante se mencionan en la tabla No. 9 y en la figuras de la 36 a 40 la dispersión.

Como en el caso de las PM₁₀, las PM_{2.5} sobrepasan la norma cerca de la termoeléctrica debido al bajo nivel de precipitación mostrado a lo largo del año (Zhou Y, 2002).

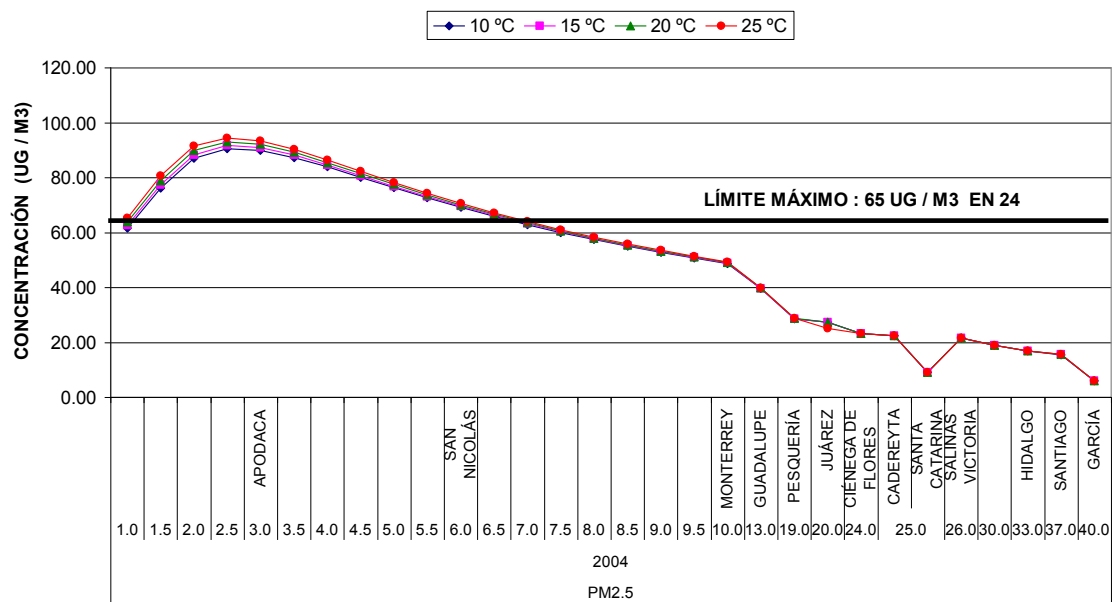


Figura 35 Dispersión de SCREEN para las PM2.5

TABLA 9

SECTORES MÁS CONTAMINADOS POR LA PRESENCIA DE PM2.5

Colonia o Sector	Municipio
Sector Casa Blanca	San Nicolás
Villas de San Cristobal	San Nicolás
Palmas Diamante (Fraccionamiento Nuevo)	San Nicolás
Valle de Huinalá	Apodaca
Las Puentes	San Nicolás
Mezquital	San Nicolás
Lagrange	San Nicolás
Santo Domingo	San Nicolás
Los Angeles	San Nicolás
Villas de San Miguel	Guadalupe

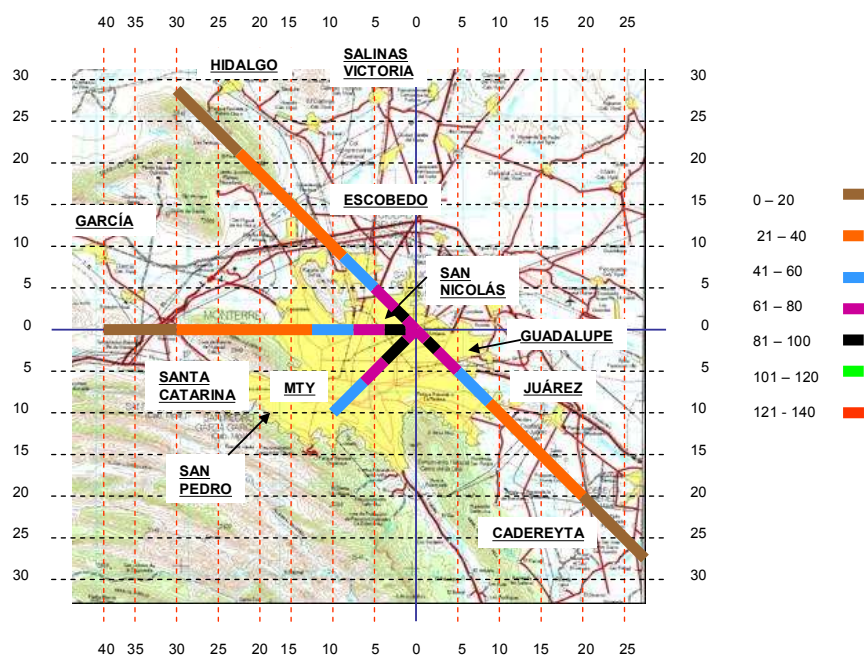


Figura 36 Dispersión de PM2.5 semana 3 (9 al 15 enero)

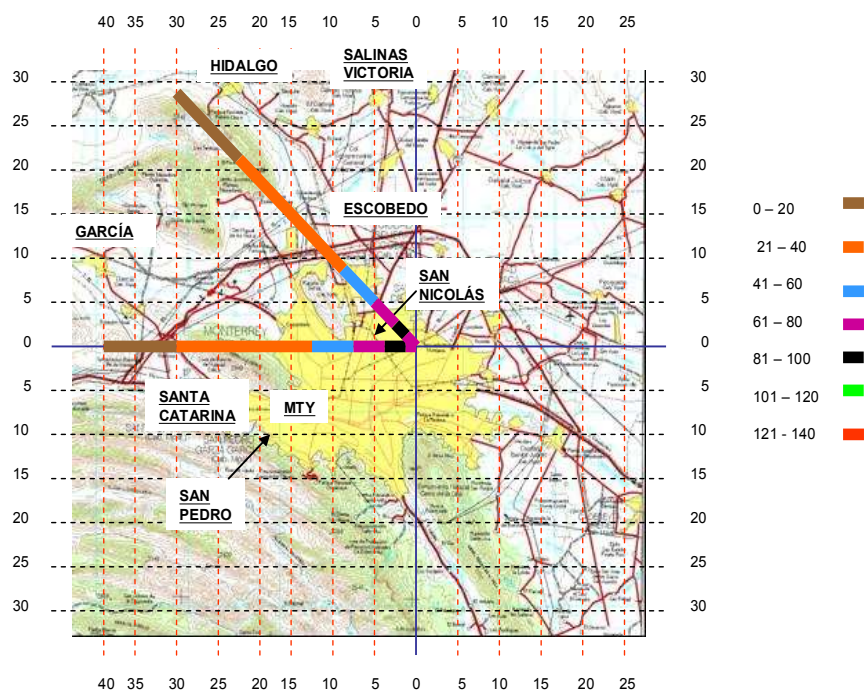


Figura 37 Dispersión de PM2.5 semana 20 (8 al 14 mayo)

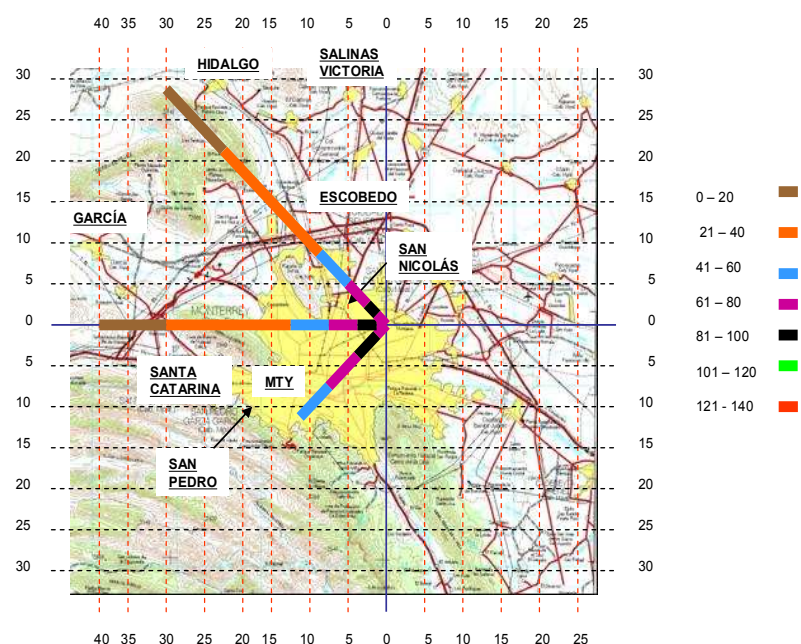


Figura 38 Dispersión de PM2.5 semana 38 (11 al 17 septiembre)

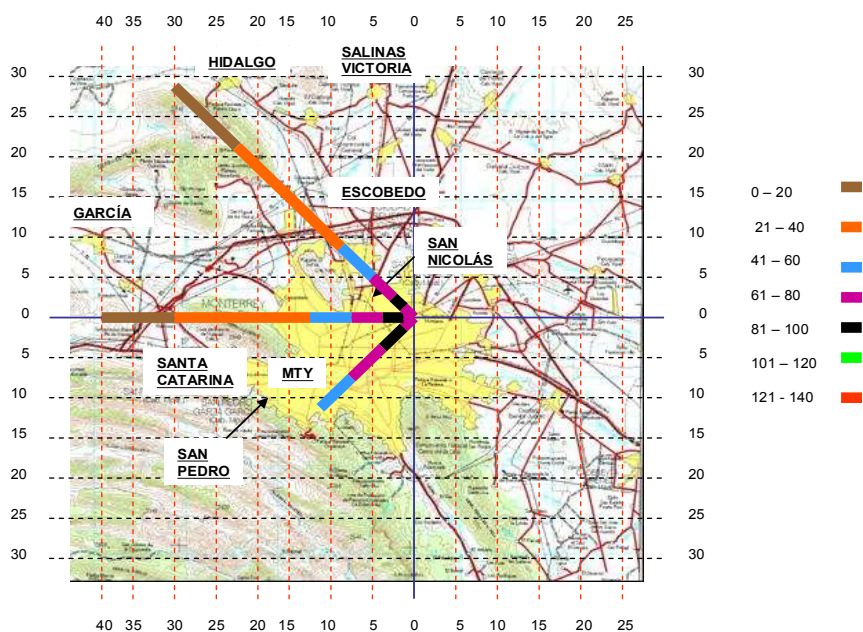


Figura 39 Dispersión de PM2.5 semana 48 (20 al 26 noviembre)

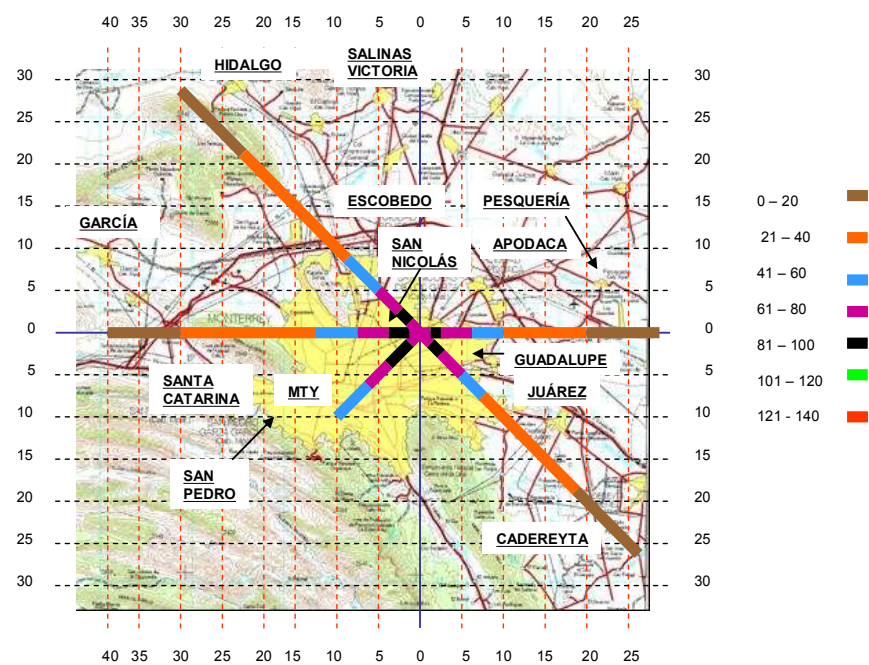


Figura 40 Dispersión de PM2.5 semana 50 (4 al 10 diciembre)

Para resumir las afectaciones de las emisiones de SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5} se mencionan los municipios que presentan algún tipo de afectación.

TABLA 10

MUNICIPIOS QUE PRESENTARÁ ALGUNA AFECTACIÓN

PERÍODO	SEMANA	INICIO	FINAL	MUNICIPIOS AFECTADOS	
1	48	20-Nov	26-Nov	ESCOBEDO GARCÍA HIDALGO SALINAS VICTORIA MONTERREY SAN NICOLÁS	SAN PEDRO SANTA CATARINA JUÁREZ CADEREYTA GUADALUPE
2	3	09-Ene	15-Ene	ESCOBEDO GARCÍA HIDALGO SALINAS VICTORIA MONTERREY SAN NICOLÁS	SAN PEDRO SANTA CATARINA JUÁREZ CADEREYTA GUADALUPE
3	20	08-May	14-May	ESCOBEDO GARCÍA HIDALGO	SALINAS VICTORIA MONTERREY SAN NICOLÁS
4	38	20-Nov	26-Nov	ESCOBEDO GARCÍA HIDALGO SALINAS VICTORIA	MONTERREY SAN NICOLÁS SAN PEDRO SANTA CATARINA
5	50	04-Dic	10-Dic	ESCOBEDO GARCÍA HIDALGO SALINAS VICTORIA MONTERREY SAN NICOLÁS	JUÁREZ CADEREYTA GUADALUPE APODACA PESQUERÍA

3.4 Impactos a la salud por las emisiones

La predicción de los daños a la salud por las emisiones a la atmósfera es el resultado final de exceder las normas oficiales mexicanas (NOM).

Para hacer una predicción de cuantos casos adicionales habría de ciertas enfermedades, tomando como base la incidencia de enfermarse por cada 100 000 habitantes en condiciones normales, se empleó el simulador AirQ 2.2.3 recomendado por la World Health Organization (WHO).

Para simular los impactos a la salud se determinó los casos por cada 100 000 habitantes (tabla No. 11), ya que es un dato de entrada al simulador.

El cálculo de esta cantidad se obtuvo como la razón entre los casos registrados en el estado de Nuevo León ponderados a la población del municipio de San Nicolás de los Garza y a la suma entre la población asegurada y no asegurada del IMSS.

Los casos que se toman como base bajo condiciones normales de contaminación son los calculados mencionados en la tabla No. 11 y los casos de exceso a dicho número se calcularán con el simulador mencionado.

TABLA 11

EGRESOS HOSPITALARIOS POR CAUSA SEGÚN EL IMSS

Causa de impacto a la salud	Estado de Nuevo León			Población
	casos	población del IMSS		San Nicolás
	registrados	asegurada	no asegurada	registrada
Mortalidad Total	1030	2976061	1202084	476761
Mortalidad Cardiovascular	707	2976061	1202084	476761
Mortalidad Respiratoria	323	2976061	1202084	476761
Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias	9288	2976061	1202084	476761
Ataques de Asma	184	2976061	1202084	476761

TABLA 12

IMPACTO A LA SALUD POR 100 000 HABITANTES

Causa de impacto a la salud	San Nicolás		
	casos	casos por	casos
	ponderados	cada 100 000	calculados
Mortalidad Total	118	25	118
Mortalidad Cardiovascular	81	17	81
Mortalidad Respiratoria	37	8	37
Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias	1060	222	1060
Ataques de Asma	21	4	21

La WHO recomienda usar los coeficientes de dosis – respuesta de la tabla 13 para medir el impacto de incremento de emisiones en incremento de contraer la enfermedad.

TABLA 13

COEFICIENTES DE DOSIS – RESPUESTAS USADAS EN EL SIMULADOR

Causa de impacto a la salud	por cada 10 ug / m ³					
	Coeficiente Dosis - Respuesta PM ₁₀			Coeficiente Dosis - Respuesta PM _{2.5}		
	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto
Mortalidad Total	1.0074	1.0062	1.0086	1.0150	1.0110	1.0190
Mortalidad Cardiovascular	1.0080	1.0050	1.0180	-	-	-
Mortalidad Respiratoria	1.0120	1.0080	1.0370	-	-	-
Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias	1.0080	1.0048	1.0112	-	-	-
Ataques de Asma	1.0040	1.0000	1.0080	-	-	-

Los contaminantes considerados para el análisis son las PM₁₀ y PM_{2.5}.

Los coeficientes de dosis respuesta son muy variados y dependen del tipo de estudio donde se determinan, razón por la que se utiliza un estimador central y un límite superior e inferior. En las gráficas de exceso de casos por causa aparecerán tres series de datos.

Para las causas de impacto a la salud mencionadas en la anterior gráfica la más significativa es la de Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias y esto se refleja en la gráfica de número de exceso de casos en función de la concentración de PM₁₀ en el ambiente. En el caso de asma no se presenta exceso de casos.

Para las PM_{2.5} el exceso de casos no es significativo.

El rango de 50 a 70 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ es donde hay más probabilidad de que haya más casos de enfermedades respiratorias y éstos pueden ir desde 5 hasta 11 casos, según el coeficiente de dosis – respuesta que se esté usando (figura 41).

Para las otras cuatro causas de enfermedad no hay una contribución significativa en los casos de exceso a llegar máximo a un caso que pasa el número de casos por 100 000 habitantes.

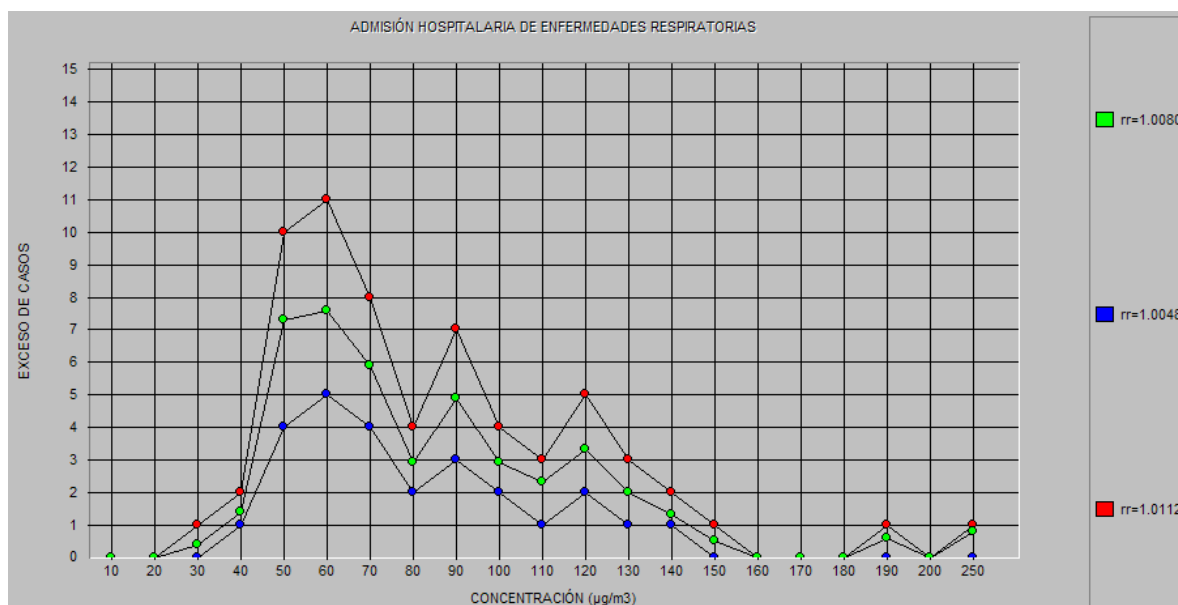


Figura 41 Exceso de casos por PM_{10} en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias

Para las otras causas de impacto a la salud que no son significativas se presentan el exceso de casos del número de casos calculados mencionado en la tabla No. 14.

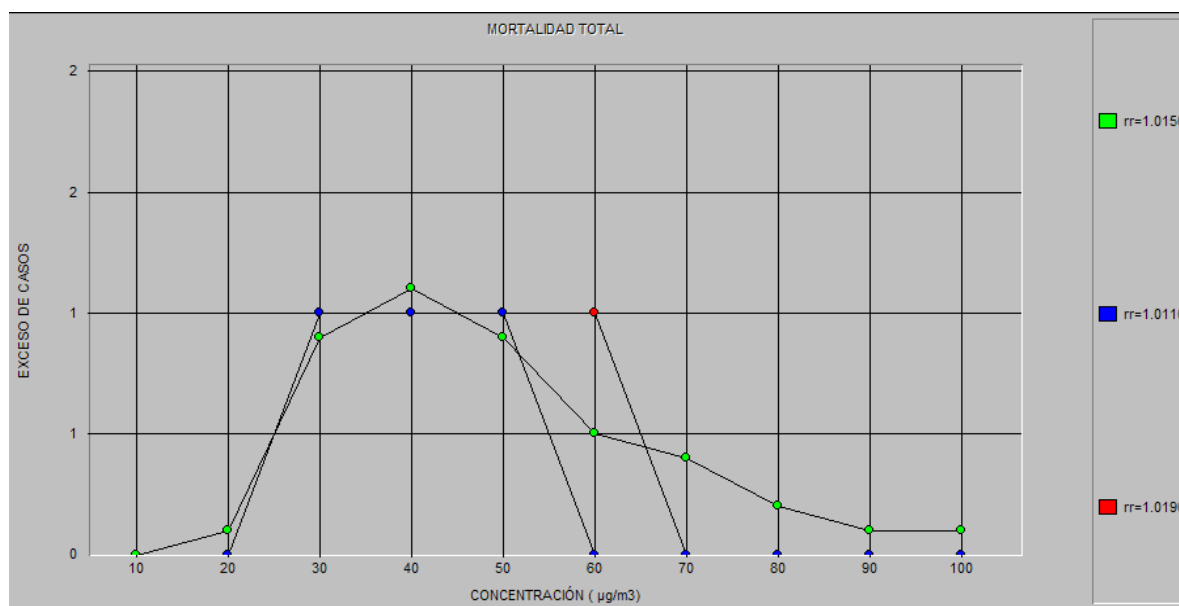


Figura 42 Exceso de casos por PM10 en mortalidad total

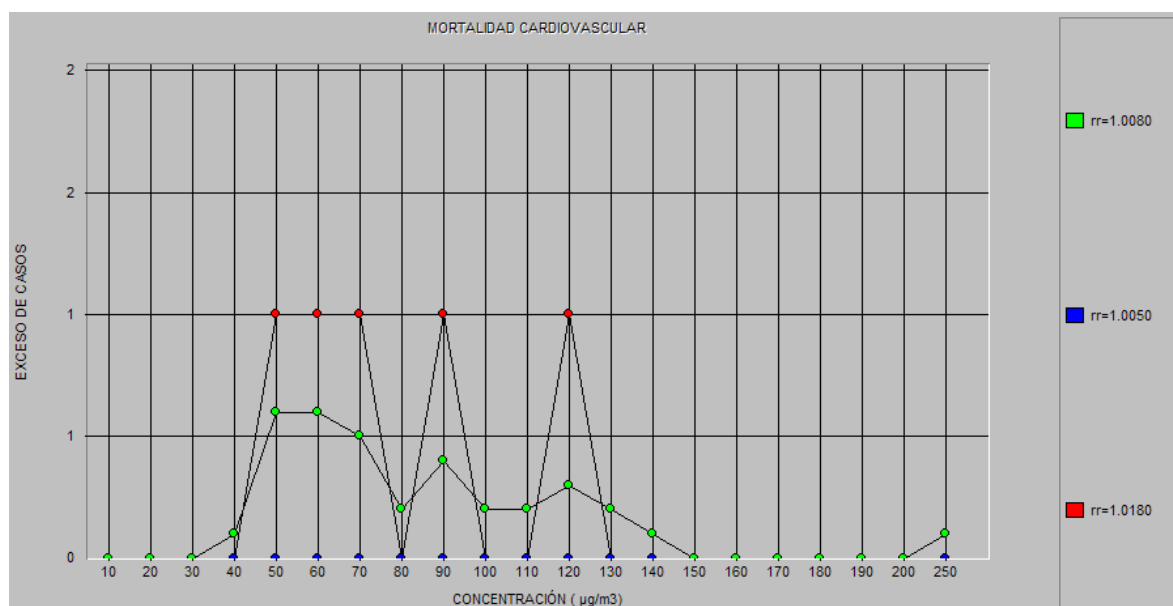


Figura 43 Exceso de casos por PM10 en mortalidad cardiovascular

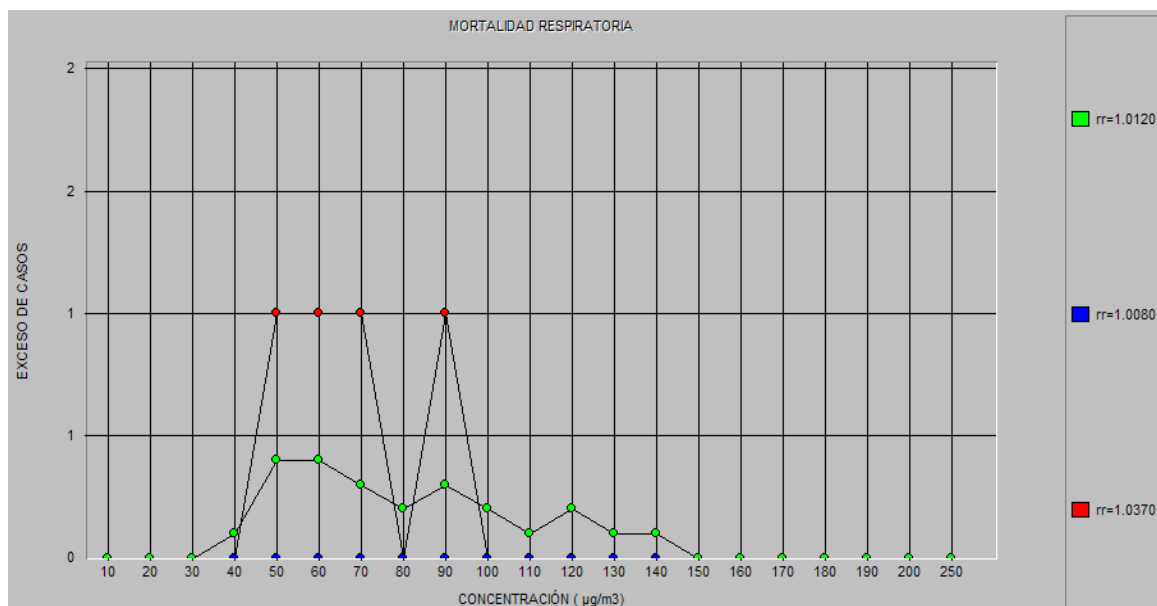


Figura 44 Exceso de casos por PM10 en mortalidad respiratoria

Los casos totales entre la tasa basal de impactos calculados y los adicionales por exceder la norma de se presentan en la tabla 14.

TABLA 14

RESUMEN TOTAL DE IMPACTOS A LA SALUD.

Causa de impacto a la salud	San Nicolás				
	casos	casos por	casos	exceso de	total de
	ponderados	cada 100 000	calculados	casos	casos
Mortalidad Total	118	25	118	1	119
Mortalidad Cardiovascular	81	17	81	1	81
Mortalidad Respiratoria	37	8	37	1	38
Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias	1060	222	1060	5 a 11	1066 a 1071
Ataques de Asma	21	4	21	0	21

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN

4.1 Dispersión de contaminantes

Para poder predecir la dispersión de los contaminantes fue necesario utilizar un modelo de calidad de aire (SCREEN) que predijera la concentración del contaminante en función de la distancia y combinar los datos con las rosas de viento (WRPLOT) para determinar la dirección del viento y, por lo tanto, la de los contaminantes.

Usar el SCREEN y el WRPLOT de forma simultánea no calcula una dispersión de contaminantes en cuanto a la banda perpendicular a la dirección del viento. Para esto hay que emplear modelos de calidad de aire más sofisticados, como CALPUFF (Kumar et al 2006) y AERMOD, los cuáles involucran mayor tiempo de cómputo y variables meteorológicas y geofísicas del dominio de simulación (Barna et al 2002).

Haber usado el análisis cluster para encontrar períodos representativos nos permite reducir la cantidad de datos de la simulación y tiempo de simulación. Para esto se determinaron cinco semanas del 2004 en donde cada período tiene similitud entre las variables meteorológicas. Las condiciones que predominan son temperaturas de frías a

templadas y humedades desde bajas hasta altas, lo que indica que este año fue extremo en su meteorología.

El SO₂ presenta mayor incumplimiento a la norma por sobrepasarla en casi todo el dominio de simulación, situación que tiene que ser revisada con la SEMARNAT y el INE para proponer medidas de mitigación.

Los primeros cuatro kilómetros son los prioritarios por presentar concentraciones de hasta 1.00 ppm cuando el límite de la norma es 0.13 ppm en 24 horas.

Para las PM₁₀ y PM_{2.5} la situación es diferente ya que sólo en los primeros cinco kilómetros sobrepasa la norma (120 y 65 µg / m³) y llegan a valores de 140 y 90 µg / m³ en 24 horas respectivamente.

Una particularidad de estas partículas es que su dispersión varía en función del tamaño aerodinámico que tenga las partículas. Esto provoca que su impacto final pueden ser de hasta 60 km desde su punto de emisión (Levy et al 2002).

Esto afectará a municipios fuera del área metropolitana de Monterrey. También habrá que tomarlos en cuenta para futuros desarrollos urbanos.

4.2 Impactos a la salud

Al tener tantos estudios de toxicología no es posible definir coeficientes de dosis – respuesta para algún daño a la salud en particular.

También depende de la zona del mundo donde se realice y las condiciones ambientales presentes en el momento del estudio (López et al 2003) .

Esto obliga a utilizarlos con límites de confianza y los resultados se interpretan como un rano en donde puede estar la respuesta real.

Fue así como se predijeron los impactos a la salud en las colonias circundantes a la termoeléctrica en San Nicolás de los Garza.

Los impactos que se calcularon asociados con las concentraciones simuladas fueron 1 caso de mortalidad total, 1 caso de mortalidad cardiovascular, 1 caso de mortalidad respiratoria, de 5 a 11 casos para las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y no hubo casos para el asma.

Al tener un caso de mortalidad en la total, cardiovascular y respiratoria indica que deben monitorearse e informarle a la población para que tome medidas inmediatas en caso de padecer enfermedades respiratorias y cuando se superen las normas de calidad de aire.

Lo mismo para los casos en donde se produzcan enfermedades respiratorias que incapaciten a la población.

Al haber calculado la tasa basal de impactos a la salud con datos del IMSS y la población asegurada y no asegurada, no se puede abarcar la totalidad de las enfermedades, ya que una parte de la población acude al sector privado y estas estadísticas no llegan a manos del IMSS.

4.3 Propuestas para disminuir impactos a la salud y medio ambiente

4.3.1 Material de Salud

La población que resida en los primeros seis kilómetros alrededor de la termoeléctrica debe de estar lo mejor informada de cuando se superen concentraciones arriba de la norma para tomar medidas como evitar salir a ciertas horas del día o salir con tapabocas al intemperie.

Proveer de material de protección a la población que padezca de enfermedades crónicas aún si permanece dentro de sus casas.

La ventilación de aire del exterior al interior de las casas debe de filtrarse antes de que sea respirado por la población vulnerable.

4.3.2 Materia de Medio Ambiente

Altas concentraciones de SO₂ presentarán daños a los árboles de la zona, lo que provocará que sus hojas no se desarrollen plenamente.

La lluvia ácida (junto con la formación de NO_x) es propensa a formarse si las concentraciones de SO₂ siguen superándose en el dominio de simulación. Los daños que causará es acidificar el agua potable, dañar estructuras de acero y de minerales que estén expuestas al medio ambiente.

Lo único que es posible hacer es reducir las emisiones de SO₂.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se derivan las siguientes conclusiones:

1. En los meses de otoño e invierno es cuando se producen las mayores emisiones de partículas, relacionadas también con la mayor producción de polen en las plantas.
2. El municipio de San Nicolás de los Garza es el más afectado en comparación con el resto de los municipios analizados ya que las mayores concentraciones de contaminantes se presentan en dicho municipio.
3. Los municipios de Ciénega de Flores y Pesquería son los menos afectados ya que la dirección del viento es predominante hacia el noroeste, suroeste, oeste y sureste. La dirección noreste no se presenta y es en donde se ubican dichos municipios.
4. Las mayores afectaciones se presentan en los municipios de Escobedo, Hidalgo, Salinas Victoria y García ya que la dirección del viento hacia el noroeste y el oeste predominan en casi todo el año.

5. Los receptores que están debajo de la chimenea de emisiones de la termoeléctrica tienen mayores concentraciones que los receptores con mayor altitud sobre la chimenea emisora, como es el caso de Santa Catarina y García.
6. No existe una relación directa entre la temperatura ambiental y la humedad relativa.
7. En todos los períodos representativos simulados se observa que la precipitación está prácticamente ausente, salvo en el mes de diciembre donde hubo alta humedad relativa. Esto confirma el clima seco de Monterrey y su Área Metropolitana.
8. La ausencia de precipitación hace que la deposición de los contaminantes sea por vía seca y no por húmeda.
9. Los daños al medio ambiente por la lluvia ácida serán en menor escala comparados con la deposición en seco.
10. El cumplimiento de las NOM no es satisfactorio en los contaminantes estudiados y lo es más en el SO₂.

11. No es posible determinar la afectación total a la salud de la población debido a que las estadísticas del IMSS no consideran a la población que se atiende en el sector privado.
12. El rango de 50 a 70 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ de las PM10 es en donde se presentan los mayores impactos a la salud, pero la influencia de las máximas y medias de las concentraciones a lo largo del año y de la estación meteorológica hace que este rango se presente abajo del límite máximo de la norma.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de la protección al Medio Ambiente del Estado de Nuevo León, Base de datos del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (en línea), (2007). www.nl.gob.mx, Acceso : 3 septiembre 2006.

Ahrens D, Essentials of Meteorology. An invitation to the atmosphere. 3ra edición, (316-318), Books Cole, Canadá, 2001

Barna MG y Gimson NR, Dispersion modeling of a wintertime particulate pollution episode in Christchurch, New Zealand; Atmospheric Environment: 36, 3531-3544, (2002).

Bennett, DH, Mckone TE, Evans JS, Nazoff WN, Margai, MD, Jolliet O y Smith KR. Defining intake fraction; Environment Science and Technology: 36, 206-211 (2002).

Bishop PL, Pollution Prevention: Fundamentals and Practice; McGraw-Hill, 87-89 (2000)

Boylan JW, Odman MT, Wilkinson JG y Russell AG, Integrated assessment Modeling of Atmospheric Pollutants in the Southern Appalachian Mountains: Part II. Fine Particulate Matter and Visibility; Journal of Air & Waste Management Association: 56, 12-22 (2006).

Camuffo, D, Acid Rain and deterioration of Monuments: How old is the phenomenon?; Atmospheric Environment: 26B, 247-247 (1992).

CFE, Comisión Federal de Electricidad (en línea) 2007. www.cfe.gob.mx, Acceso: 4 noviembre 2007

EPA, Environment Protection Agency, Air Quality Models (en línea) 2007. www.epa.gov/scram001/aqmindex.htm , Acceso: 15 julio 2007²

EPA, Environment Protection Agency, Preferred / Recommended Models (en línea) 2007. www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm , Acceso : 15 julio 2007.³

EPA, Environment Protection Agency, What is Acid rain ? (en línea) 2007. www.epa.gov/acidrain/what/index.html , Acceso: 16 julio 2007.¹

Fernández A y Rojas O, Evaluación del impacto de las emisiones de la termoeléctrica de Tuxpan en la calidad de aire de la región, usando el sistema de modelado de dispersión CALMET-CALPUFF, Instituto Nacional de Ecología, dirección sobre la Contaminación del Aire (en línea) 2007. www.ine.gob.mx , Acceso : 1 de junio 2007.

Jiménez P, Parra R y Baldasano JM, Control of Ozone Precursors in a Complex Industrial Terrain by using Multiscale-Nested air quality models with Fine Spatial Resolution; Journal of Air & Waste Management Association: 55, 1085-1099 (2005).

INE, Instituto Nacional de Ecología (en línea) 2007. www.ine.gob.mx, Acceso: 30 septiembre 2007.

INE, Emisiones derivadas de la producción de energía en centrales termoeléctricas (en línea) 2007, www.ine.gob.mx , Acceso : 20 octubre 2007.

INE, Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en ciudades mexicanas, Dirección General de Gestión e Información Ambiental de INE, (75-103), 2000.

Law P. L., Gracie Chong S. C., Baharun A y Rahman A. A., A comparison of nearby incremental ground level and in plant concentrations of air pollutants emitted from electronics facilities; Int, Journal Environ. Sci Tech: 3, 243-250 (2006).

Levy JI, Spengler JD, Hlinka D, Sullivan D y Moon D. Using CALPUFF to evaluate the impacts of power plant emissions in Illinois: model sensitivity and implications; Atmospheric Environment: 36, 1063-1075 (2002).

López MT, Garibay V, Zuk M, Tzintzum G, Iniestra R y Fernández A, Health impacts from power emissions in Mexico; Atmospheric Environment: 39, 1199-1209 (2005).

Miller P J, Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas en América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, (9-87) 2004.

Moran JM, Morgan MD, Meteorology. The atmosphere and the Science of weather, 5a edición, (406-408) , Prentice Hall, USA, 1997.

NOM-022-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. (2), México, 1993.

NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de

10 micrómetros PM₁₀ y partículas menores de 2.5 micrómetros PM_{2.5} en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población (6), México, 1993.

Sehmel, GA, Particle and gas dry deposition: a review; Atmospheric Environment: 14, 983-1011 (1980).

SEMARNAP, Programa de Administración de la Calidad del aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000, (13-40).

SEMARNAT e INE, Inventario Nacional de Emisiones, 1999, (21-22), 2005.

SENER, Secretaría de Energía (en línea) 2007. www.sener.gob.mx, Acceso : 28 octubre 2007.

SIMA, Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (en línea) 2007, www.nl.gob.mx, Acceso: 1 noviembre 2007.

Singh, R.B, Desioges C y Sloan J.J., Application of a Microscale Emission Factor Model for Particulate Matter to Calculate Vehicle-Generated contributions to Fine Particulate Emissions; Journal of Air & Waste Management Association: 56, 37-47 (2006).

Smirnioudi VN y Siskos PA. Chemical composition of wet and dust deposition in Athens, Greece; Atmospheric Environment: 26B, 483 – 490 (1992).

Smith JM, Van Ness HC y Abbott MM, Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química, McGrawHill, 5ª Edición, México, (306-319), 1999.

Vijay S, Molina L, Molina M, Cálculo de Emisiones de Contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano, Massachussets Institute of Technology, (3-19), 2004.

Villaseñor R, Magdaleno M, y Quintanar A. Ana ir quality emisión inventory of offshore operations for the exploration and production of petroleum by the Mexican oil industry, Atmospheric Environment: 37, (3713-3729), 2003

Wark K, Warner C y Davis W, Air Pollution. It's Origin y Control.; Addison Wesley, 3er Edition, 4 - 4 (1998).¹

Zhou Y, Levy JI, Hammitt JK y Evans JS. Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing, China; Atmospheric Environment: 37, (815-826), 2003.

4 APÉNDICES

Apéndice A

USO DEL SIMULADOR AIRQ 2.2.3

El simulador AirQ está libre en la red en la página del INE.



Los datos de entrada para predecir los daños a la salud son los siguientes:

El contaminante a estudiar

Intervalo de concentración del contaminante para cálculos

Pollutant	PM2.5	per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Save and
Year	2004		
Country	México		
Agglomeration		Add	
Coordinates	Latitude	Longitude	Decimal degrees or D,M,S
Exposed Population	476	x 1000	
No of stations used for profile	1		
Network affiliation	UANL		
Responsible agency/unit	Ing. Eduardo Yáñez Arreola		

Los días de invierno y verano del año en estudio
 Los máximos y medias anuales del contaminante en estudio
 Los máximos y medias anuales de la estación de monitoreo
 Los días en donde se presenta cada intervalo de $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$

Air Quality Data

CANCEL CALC

Pollutant: PM2.5 daily mean $\mu\text{g}/\text{m}^3$ days

Year: 2004

Country: México

Agglomeration:

Exposed Population: 476 x 1000

Data Capture: annual days: 365
 winter: 151
 summer: 152

Import ==>

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	days	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	days
<10	0	130-139	0
10-19	40	140-149	0
20-29	100	150-159	0
30-39	76	160-169	0
40-49	44	170-179	0
50-59	20	180-189	0
60-69	12	190-199	0
70-79	5	200-249	0
80-89	3	250-299	0
90-99	3	300-349	0
100-109	0	350-399	0
110-119	0	>=400	0
120-129	0		

Annual mean: 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annual maximum: 569 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Winter mean: 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ winter maximum: 462 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Summer mean: 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ summer maximum: 332 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Annual 98 percentile: 76

No of stations: 1

Lowest Station		Highest Station	
name		name	
Annual mean	0	Annual mean	45
Winter mean	0	Winter mean	43
Summer mean	0	Summer mean	48
Annual 98 percentile	0	Annual 98 percentile	91
annual maximum	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	annual maximum	289 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
winter maximum	0	winter maximum	196
summer maximum	0	summer maximum	263

La causa de impacto a la salud a estudiar
 La tasa basal de incidencia
 La certidumbre científica de riesgo relativo
 El valor mínimo de concentración para calcular impactos.

Parameters

Tables Chart Save Print Close Default

PM2.5

Health End Point Total Mortality Add

Baseline incidence 1013 per 100 000 per year

Relative risk 1.015

Lower 1.011 per 10 µg/m3

Upper 1.019

Scientific certainty of relative risk HIGH

Calculate impact of concentrations > 10 µg/m3

Click for impact estimates

rr central
rr lower
rr upper

Estimated AP percentage of excess case

Estimated numl

Apéndice B

FACTORES DE EMISIÓN

Table 1.3-1. CRITERIA POLLUTANT EMISSION FACTORS FOR FUEL OIL COMBUSTION^a

Firing Configuration (SCC) ^a	SO ₂ ^b		SO ₃ ^c		NO _x ^d		CO ^e		Filterable PM ^f	
	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING
Boilers > 100 Million Btu/hr										
No. 6 oil fired, normal firing (1-01-004-01), (1-02-004-01), (1-03-004-01)	157S	A	5.7S	C	47	A	5	A	9.19(S)+3.22	A
No. 6 oil fired, normal firing, low NO _x burner (1-01-004-01), (1-02-004-01)	157S	A	5.7S	C	40	B	5	A	9.19(S)+3.22	A
No. 6 oil fired, tangential firing, (1-01-004-04)	157S	A	5.7S	C	32	A	5	A	9.19(S)+3.22	A
No. 6 oil fired, tangential firing, low NO _x burner (1-01-004-04)	157S	A	5.7S	C	26	E	5	A	9.19(S)+3.22	A
No. 5 oil fired, normal firing (1-01-004-05), (1-02-004-04)	157S	A	5.7S	C	47	B	5	A	10	B
No. 5 oil fired, tangential firing (1-01-004-06)	157S	A	5.7S	C	32	B	5	A	10	B
No. 4 oil fired, normal firing (1-01-005-04), (1-02-005-04)	150S	A	5.7S	C	47	B	5	A	7	B
No. 4 oil fired, tangential firing (1-01-005-05)	150S	A	5.7S	C	32	B	5	A	7	B
No. 2 oil fired (1-01-005-01), (1-02-005-01), (1-03-005-01)	157S	A	5.7S	C	24	D	5	A	2	A
No. 2 oil fired, LNB/FGR, (1-01-005-01), (1-02-005-01), (1-03-005-01)	157S	A	5.7S	A	10	D	5	A	2	A

Table 1.3-1. (cont.)

Firing Configuration (SCC)*	SO ₂ ^b		SO _x ^c		NO _x ^d		CO ^e		Filterable PM ^f	
	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor (lb/10 ³ gal)	EMISSION FACTOR RATING
Boilers < 100 Million Btu/hr										
No. 6 oil fired (1-02-004-02/03) (1-03-004-02/03)	157S	A	2S	A	55	A	5	A	10	B
No. 5 oil fired (1-03-004-04)	157S	A	2S	A	55	A	5	A	9.19(S)+3.22	A
No. 4 oil fired (1-03-005-04)	150S	A	2S	A	20	A	5	A	7	B
Distillate oil fired (1-02-005-02/03) (1-03-005-02/03)	142S	A	2S	A	20	A	5	A	2	A
Residential furnace (A2104004/A2104011)	142S	A	2S	A	18	A	5	A	0.4 ^g	B

* To convert from lb/10³ gal to kg/10³ L, multiply by 0.120. SCC = Source Classification Code.

^b References 1-2,6-9,14,56-60. S indicates that the weight % of sulfur in the oil should be multiplied by the value given. For example, if the fuel is 1% sulfur, then S = 1.
^c References 1-2,6-8,16,57-60. S indicates that the weight % of sulfur in the oil should be multiplied by the value given. For example, if the fuel is 1% sulfur, then S = 1.
^d References 6-7,15,19,22,56-62. Expressed as NO_x. Test results indicate that at least 95% by weight of NO_x is NO for all boiler types except residential furnaces, where about 75% is NO. For utility vertical fired boilers use 105 lb/10³ gal at full load and normal (>15%) excess air. Nitrogen oxides emissions from residual oil combustion in industrial and commercial boilers are related to fuel nitrogen content, estimated by the following empirical relationship: lb NO_x/10³ gal = 20.54 + 104.39(N), where N is the weight % of nitrogen in the oil. For example, if the fuel is 1% nitrogen, then N = 1.

^e References 6-8,14,17-19,56-61. CO emissions may increase by factors of 10 to 100 if the unit is improperly operated or not well maintained.

^f References 6-8,10,13-15,56-60,62-63. Filterable PM is that particulate collected on or prior to the filter of an EPA Method 5 (or equivalent) sampling train. Particulate emission factors for residual oil combustion are, on average, a function of fuel oil sulfur content where S is the weight % of sulfur in oil. For example, if fuel oil is 1% sulfur, then S = 1.

^g Based on data from new burner designs. Pre-1970's burner designs may emit filterable PM as high as 3.0 lb/10³ gal.

Table 1.3-5. CUMULATIVE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION AND SIZE-SPECIFIC EMISSION FACTORS FOR INDUSTRIAL BOILERS FIRING RESIDUAL OIL^a

Particle Size ^b (μm)	Cumulative Mass % \pm Stated Size		Cumulative Emission Factor (lb/10 ³ gal)			
	Uncontrolled	Multiple Cyclone Controlled	Uncontrolled		Multiple Cyclone Controlled ^d	
			Emission Factor	EMISSION FACTOR RATING	Emission Factor	EMISSION FACTOR RATING
15	91	100	7.59A	D	1.67A	E
10	86	95	7.17A	D	1.58A	E
6	77	72	6.42A	D	1.17A	E
2.5	56	22	4.67A	D	0.33A	E
1.25	39	21	3.25A	D	0.33A	E
1.00	36	21	3.00A	D	0.33A	E
0.625	30	— ^e	2.50A	D	— ^e	NA
TOTAL	100	100	8.34A	D	1.67A	E

^a Reference 26. Source Classification Codes 1-02-004-01/02/03/04 and 1-02-005-04. To convert lb/10³ gal to kg/10³ L, multiply by 0.120. NA = not applicable.

^b Expressed as aerodynamic equivalent diameter.

^c Particulate emission factors for residual oil combustion without emission controls are, on average, a function of fuel oil grade and sulfur content where S is the weight % of sulfur in the oil. For example, if the fuel is 1.0% sulfur, then S = 1.

No. 6 oil: A = 1.12(S) + 0.37

No. 5 oil: A = 1.2

No. 4 oil: A = 0.84

^d Estimated control efficiency for multiple cyclone is 80%.

^e Insufficient data.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Eduardo Yáñez Arreola

Candidato para el Grado de
Maestro en Ciencias con Especialidad en Procesos Sustentables

Tesis: ESTIMACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DE
PLANTAS TERMOELÉCTRICAS MEDIANTE EL MODELO SCREEN

Campo de Estudio: Ingeniería Ambiental

Biografía:

Datos Personales: Nacido en Monterrey, Nuevo León el 10 de abril de 1981, hijo de Ernesto Yáñez Valdez y María del Socorro Arreola Murillo.

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido Ingeniero Químico en 2002 con mención honorífica, primer lugar en la generación.

Experiencia Profesional: Supervisor de Producción en Grupo LALA en 2003 e Ingeniero de Procesos en Hilatura Directa en Akra Polyester desde diciembre 2004 a la fecha